

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra materiálů a technologií pro automobily



Návrh měřicího stendu pro testování přední nápravy automobilu

Proposal of measuring device for testing automotive front axle

Student: Lukáš Vavříček

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Tomčík Petr, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství  
Katedra materiálů a technologií pro automobily

## **Zadání bakalářské práce**

Student:

**Lukáš Vavříček**

Studijní program:

B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma:

Návrh měřicího stendu pro testování přední nápravy automobilu  
Proposal of measuring device for testing automotive front axle

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor současného stavu zkoušení automobilových náprav.
2. Návrh zkušebního přípravku, včetně 3D modelu s popisem dalších částí zkušebního stendu.
3. Komplettní výrobní dokumentace přípravku.
4. Analýza navrhnutého zkušebního přípravku.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Česká svářečská společnost ANB. Materiály a jejich svařitelnost : učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 1. Ostrava : ZEROSS, 2001. 292 s. ISBN 80-85771-81-0.
2. VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. Brno : Nakladatelství VLK, 2003. 292 s. ISBN 80-239-0024-2.
3. REIMPELL, Jönsen, et al. The automotive chassis: engineering principles. Oxford : Butterworth Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0-7506-5054-0.
4. VLK, František. Podvozky motorových vozidel. Brno : Nakladatelství Vlk, 2003. 392 s. ISBN 80-239-0026-9.
5. The Car Maintenance Bibles [online]. 2011 [cit. 2011-11-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.carbibles.com>>
6. VLK, František. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy. 1. vyd. Brno: F. Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

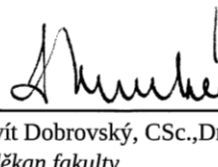
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.  
děkan fakulty

## Zásady pro vypracování bakalářské práce

### I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

### II.

#### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 5. Obsah BP                  |
| 2. Zásady pro vypracování BP                 | 6. Textová část BP           |
| 3. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 7. Seznam použité literatury |
| 4. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 8. Přílohy                   |

ad 1) Titulním listem je originál zadání BP, který student obdrží na své oborové katedře.

ad 2) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za titulním listem. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 3) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 4) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 5) Obsah BP se uvádí na zvláštním listě. Zahnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 6) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na

ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 8).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 7) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

- ad 8) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra .....*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

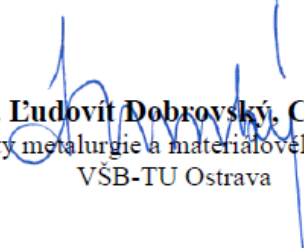
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

### IV.

Bakalářská práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2012/2013.

Ostrava 30. 11. 2012

  
**Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.**  
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava

Ostrava 2013

### **Abstrakt**

Bakalářka práce se zabývá přípravkem, který má spojit lichoběžníkovou nápravu ke stroji pro měření. Dalším zájmem práce bylo vytvoření ideového návrhu modulárního systému pro dynamickou simulaci náprav.

Práce je rozdělena do několika kapitol a podkapitol. Zabývá se rozdělením náprav dle konstrukce, dále je zaměřena na testování náprav, a také je zde uveden přípravek pro uchycení lichoběžníkové nápravy k přístroji pro měření tuhosti náprav.

Klíčová slova: lichoběžníková náprava, dynamická zkušebna, akcelerometr, tenzometr, LVDT, jízdní zkoušky, zkušební dráha.

### **Abstract**

The bachelor thesis deals with the preparation to connect to the machine trapezoidal axle for measurement. Another interest of this work was to create the ideal design a modular system for dynamic simulation of axles.

The work is divided into several chapters and subchapters. It deals with the division of axles according to the structure, it is also aimed at testing the axles, and there is also provided for attaching the product to the trapezoidal axle unit for measuring the stiffness of axles.

Key words: keystone axle, dynamic testing, accelerometer, strain gauge, LVDT, driving test, test track.

**PROHLÁŠENÍ STUDENTA**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO. Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Vavříček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bezručova 51, Bohumín-Záblatí

V Ostravě: .....

.....



Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval panu doc. Ing. Petru Tomčíkovi, Ph.D. za vedení práce, cenné rady a připomínky.

## **Obsah**

Úvod .....	1
1. Teoretický rozbor současného stavu zkoušení automobilových náprav .....	2
1.1. Testování náprav .....	2
1.1.1. Provozní zkoušky .....	3
1.1.1.1. Rychlostní okruh.....	4
1.1.1.2. Pavé Vozovka.....	5
1.1.1.3. Sinusová resonanční vozovka .....	5
1.1.1.4. Adhézní vozovky .....	6
1.1.1.5. Drásací vozovka .....	6
1.1.1.6. Bulžník .....	7
1.1.1.7. Ohybová vozovka .....	7
1.1.1.8. Vozovka příčné stability.....	8
1.1.1.9. Kruhová plocha.....	8
1.1.2. Laboratorní zkoušky .....	9
1.1.2.1. 4 – kanálový vertikální simulátor vozovky .....	9
1.1.2.2. 14 – kanálový vertikální simulátor vozovky .....	10
1.1.2.3. 4 – kanálový simulátor vozovky na jednu nápravu .....	10
1.1.3. Výstup provozních zkoušek do laboratoře .....	11
1.1.3.1. Laboratoř VŠB.....	11
1.1.3.2. Životnostní zkoušky vozidel.....	12
1.1.3.3. Sestava měřící ústředny a senzorická síť akcelometrů .....	13
1.1.3.4. LVDT měření .....	14
1.1.3.5. Tenzometr .....	15
1.1.3.6. Snímač síly GTM K 25 kN .....	16
1.1.3.7. Teoretické zpracovávání dat .....	16
2. Návrh zkušebního přípravku, včetně 3D modelu s popisem dalších částí zkušebního stendu.....	18
2.1. Lichoběžníková náprava .....	19
2.2. Základní deska .....	20
2.3. Hlavní část .....	21
2.4. Uchycení tlumiče .....	22

2.5.	Redukce .....	23
2.6.	Úchyt ramen lichoběžníkové nápravy .....	24
2.7.	Celkový přípravek k uchycení .....	25
3.	Kompletní výrobní dokumentace přípravku .....	26
4.	Analýza navrhnutého zkušebního přípravku .....	30
4.1.	Ohyb úchytu tlumiče .....	31
4.2.	Ohyb úchytu ramen lichoběžníkové nápravy .....	33
4.3.	Kontrola šroubu .....	35
	Závěr .....	38
	Citovaná literatura .....	39
	Seznam obrázků .....	40
	Přílohy .....	42

## **Úvod**

Bakalářská práce pojednává o základním rozdělení testování náprav a o jízdních zkouškách prováděných reálná měření na polygonech, které jsou dále doplněny o zkoušky laboratorní z dynamických zkušeben, kde se počítá pouze s maximálními zátěžovými silami a proto je tato metoda velice rychlá. Testování náprav je v dnešní době velice důležitým prvkem pro vývoj a stavbu automobilů, bez něj se již neobejdeme. Nápravy tvoří jednu část podvozku, proto mají významný vliv na jízdní vlastnosti automobilu. Přenášejí sílu a moment mezi vozovkou a kolem, na které působí také samotná váha automobilu.

Cílem této práce je vytvořit ideový návrh univerzálního přípravku pro uchycení lichoběžníkových náprav bez použití stabilizátorů, který bude připevněn k testovací věži a bude sloužit k provádění jejich laboratorních pevnostních a životnostních zkoušek včetně jejich vyhodnocení, za pomoci tříosého namáhání.

Po splnění všech daných požadavků, bude výsledný návrhový přípravek vymodelován, podrobně popsán a kontrolován z hlediska pevnosti a tuhosti s využitím metody konečných prvků. Součástí práce je kompletní výrobní dokumentace testovacího přípravku.

## **1. Teoretický rozbor současného stavu zkoušení automobilových náprav**

### **1.1. Testování náprav**

Počátkem 50. let 20. století započaly zkoušky automobilových dílů. Z počátku se jednalo jen o zkoušky, které byly prováděny na jednokanálovém zatěžování, převážně konstrukčních materiálů. Postupem času, se začal uplatňovat pokrok v elektronice a mohly se provádět již vícekanálové zkoušky. Zkoušky se prováděly především kovovými drátovými tenzometry, ty poskytovaly data zjišťující kritická konstrukční místa a ty dále sloužily jako podklady pro lepší dimenzování materiálu. Pomocí těchto zkoušek byly provedeny úpravy, které zvyšují pevnost konstrukcí náprav, karoserií a dalších částí automobilu. Na konci 60. let pomoci rozvoje počítačů, se experimentální zkoušky rapidně urychlily. V dnešní době to umožňuje zpracovávat velké množství naměřených dat a současně zatěžovat materiál na více místech najednou dle individuálních zatěžovacích procesů. [1]

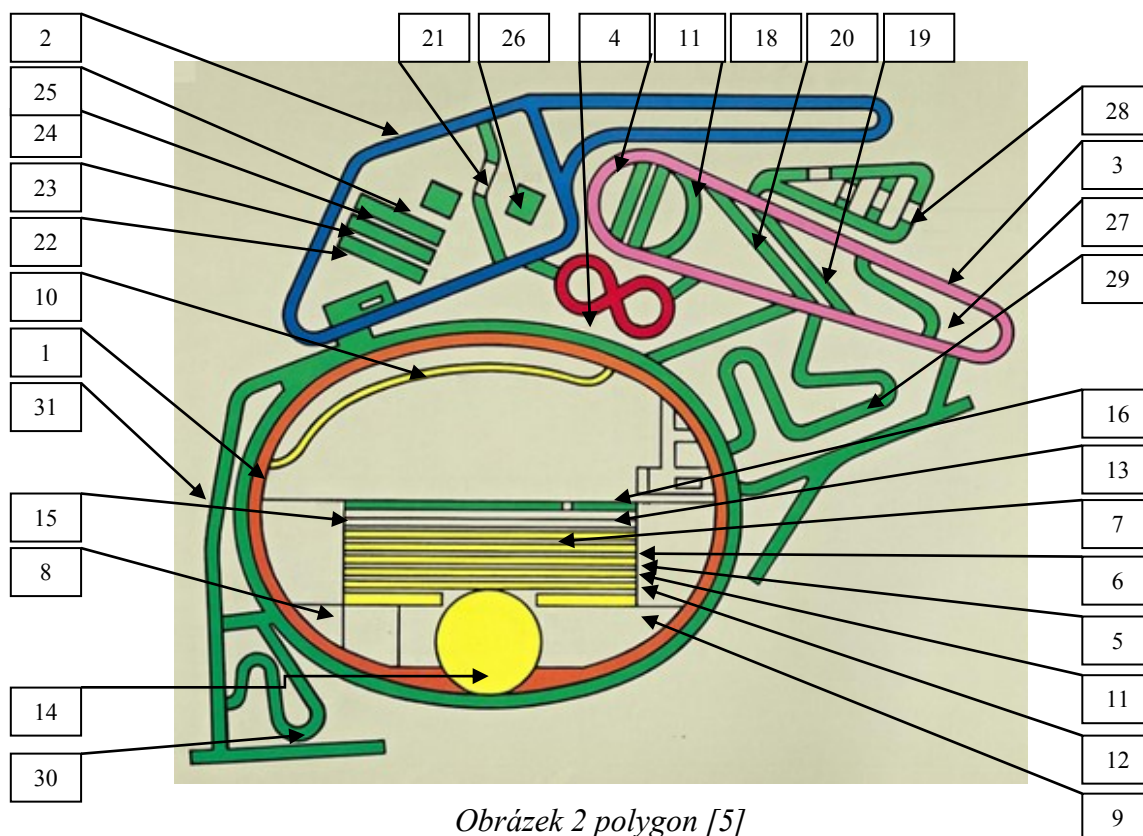


*Obrázek 1 testování přední nápravy [2]*

Zkoušky automobilu jsou rozděleny na zkoušky provozní a laboratorní. Jelikož návrh a sestavení automobilu je velmi časově náročné, proto se pro zrychlení vývoje zkoušejí nové agregáty. Jakmile vyjede první prototyp, je testován, jak provozními, tak laboratorními zkouškami. Nápravy, rámy a karoserie automobilu jsou testovány hlavně na pevnost. Jízdní zkoušky jsou prováděny na polygonech, kde každá trať má jiný druh povrchu a tím pádem, namáhá nápravu vždy jinak. Síla, která působí na nápravu, vzniká mezi vozovkou a pneumatikou, ta je ovlivněna nerovností vozovky a jízdními manévry (zatáčení, brzdění, zrychlování). Jakmile automobil přejede nerovností, vznikají zde síly, které směřují do středu otáčení kola a jsou rozděleny na složku vodorovnou a svislou. Velikost a časový průběh je závislý na dané rychlosti, kterou nerovnost automobil přejíždí. V laboratoři se vícere namáhání testuje na různých zkušebních stavech. Síly zde působí buď na pneumatiku, nebo přímo v místě uchycení. [3]

#### **1.1.1. Provozní zkoušky**

Automobil se testuje na polygonu. Polygon je místo, kde je více testovacích tratí, pro provozní zkoušky. Lze zde provádět tyto typy zkoušek (Řiditelnosti a stability, Výkonu brzd, Dynamických vlastností vozidel, Spolehlivosti a životnosti, Stoupavosti a průchodnosti terénem, Brodění, Bezpečnosti). Také se zde nachází plná řada testovacích okruhů, které jsou vždy specificky nastaveny pro daný test. **1:** Rychlostní okruh, **2:** Terénní okruh, **3:** Svahový okruh (6 a 10%), **4:** Sklápečkový okruh, Speciální vozovky: **5:** Pavé, **6:** Buližník, **7:** Belgická dlažba, **8:** Ohybová vozovka, **9:** Krutová vozovka, **10:** Panelová vozovka, **11:** Asfaltobeton, **12:** Dlážděná vozovka, **13:** Sinusová vozovka Účelové úseky: **14:** Měřicí kruhová plocha, **15:** Vozovka příčné stability, **16:** Mělký vodní brod, **17:** Vozovka se stoupáním 16%, **18:** Vozovka se stoupáním 22%, **19:** Vozovka se stoupáním 30%, **20:** Vozovka se stoupáním 45%, **21:** Vozovka se stoupáním 65%, **22:** Bahenní brod, **23:** Vodní brod, **24:** Písčitý úsek, **25:** Kolmé stupně, **26:** Příkop, **27:** Drásací vozovka, **28:** Adhézní vozovky: (Pískový úsek, Povalový úsek, Kamenný úsek, Štěrkový úsek), **29:** Silniční okruh úsek č. 1, **30:** Silniční okruh úsek č. 2, **31:** Silniční okruh úsek č. 3. Tyto okruhy jsou nastaveny tak, aby nápravy, brzdy, karoserie automobilu vždy byly co nejvíce zatěžovány, a tím jsou splňovány zkušební podmínky, nutná bezpečnost, kvalita zkoušek. [4]



#### 1.1.1.1. Rychlostní okruh

Tento okruh se skládá ze tří jízdních pruhů. Vnitřní pruh je najížděcí, střední a vnější slouží jako zkušební. Kolem okruhu za svodidly je obslužný jízdní pruh. Povrch vozovky je živičný. Okruh je postaven ve svahu se sklonem 8-10%, proto je vhodný pro zvýšené namáhání hnacího ústrojí zkoušených vozidel. Na okruhu se jsou zkoušky při maximální trvalé rychlosti, zkoušky trakce vozidel a především životnost automobilů. [5]



Obrázek 3 rychlostní okruh [5]

### 1.1.1.2. Pavé Vozovka

Tato vozovka má délku 400 m na šíři 4 m jedná se o přímý úsek. Povrch je tvořen žulovými kostkami 10x10 cm, které jsou zality do profilového betonu. Mikroprofil je vytvořen náhodnou funkcí. Nerovnost je konstantní v příčném směru v každé stopě. Maximální výška nerovnosti +/- 10 cm. Provádí se zde dva typy zkoušek a to životnostní (opakovaně nákladní vozidlo projíždí úsek v 10-30 km/h.), funkční (pohodlí jízdy, plynost nákladních vozidel, rychlost až 40 km/h.) Struktura vozovky viz obr. 4. [5]



*Obrázek 4 pavé vozovka [5]*

### 1.1.1.3. Sinusová resonanční vozovka

Délka této vozovky je 400 m, šíře 5m z toho 3m vlny kolmé na směr jízdy a 2m šířky vlny šikmé (40°) na směr jízdy. Výška vlny je 20 mm, délka 300 mm a rozteč 770 mm. Její povrch je z betonových panelů, které jsou vloženy do pískového lůžka. Je využívána jako budící vozovka k vybuzování části vozidla. Je využívána k funkčním zkouškám, zkoumá se zde kmitání soustav. [5]





*Obrázek 5 sinusová resonanční vozovka [5]***1.1.1.4. Adhézní vozovky**

Jsou tvořeny smyčkami s nájezdy k vanám, které jsou naplněny pískem, podélnými trámy, hrubým kamením, hrubým štěrkem. Zkouší se zde přilnavost automobilů k různým typům vozovky. [5]

*Obrázek 6 adhézní vozovka [5]***1.1.1.5. Drásací vozovka**

Používá se hlavně ke zkouškám pneumatik a hnacího ústrojí automobilu v extrémních podmínkách (štěrkovny, lomy). Je to železná vana vložena do země, o délce 50 m, šíře vany je 4,5 m a její náplň tvoří 55 cm vrstva hrubého kamení. Sklon vozovky je 15%, projíždí se pouze ve směru stoupání. Celková testovací dráha má délku 186 m včetně nájezdů na svahový okruh. [5]

*Obrázek 7 drásací vozovka [5]*

#### 1.1.1.6. Bulžník

Délka tohoto úseku je 400 m, šíře 4 m, jedná se o rovinný úsek, který je tvořen z říčních valounů, z tatranské žuly o velikosti 15-30 cm náhodně zalitých z  $\frac{1}{2}$  až  $\frac{3}{4}$  do rovného betonu. Hustota je 20 až 30 ks/m<sup>2</sup>. Používá se pro životnostní zkoušky nákladních, ale i osobních vozidel při rychlosti do 60 km/h tak aby se zjistila životnost tlumičů, čepů atd.[5]



Obrázek 8 bulžník [5]

#### 1.1.1.7. Ohybová vozovka

Délka této vozovky je 120 m, šíře 4 m, jedná se o úsek s nulovou nivelitou. Vozovka je tvořena žulovými kostkami o velikosti 15-30 cm, které jsou umístěny v různých vzdálenostech, jsou zaliti do profilovaného betonového podkladu. Ohyb vozovky je tvořen vlnami o délce 10-15 m s převýšením 0,7 %. Efektivní příčný sklon 3,2%. Tento úsek se používá jak pro živnostní, tak pro funkční zkoušky nákladních vozidel. Vozidla projíždějí v 3-8 km/h. Prověřují se zde podvozky pro extrémní zatížení. Průjezd je s blokováním diferenciálem. [5]



Obrázek 9 ohybová vozovka [5]

#### 1.1.1.8. Vozovka příčné stability

Délka vozovky je 230 m, šíře 4 m, jedná se o nakloněnou vozovku s rostoucím příčným sklonem 0-57,7 %. Povrch je vytvořen žulovými kostkami o rozměrech 16x16 cm na betonovém podkladu. Jsou zde prováděny funkční zkoušky příčné stability vozidel, které projíždějí v 5 km/h. [5]



*Obrázek 10 vozovka příčné stability [5]*

#### 1.1.1.9. Kruhová plocha

Vnější průměr je 100 m s vyznačenými kruhy o poloměrech 20, 30 a 40 m. Povrch má sklon 0,5 %. Je zde umožněno povrch vozovky smáčet vodou, rychlosti jsou zde do 50 km/h (výjimečně u osobních automobilů až 80 km/h). Jsou zde prováděny funkční zkoušky např. (stabilita, říditelnost) a to tak, že automobil krouží po vozovce a průměr kruhů se zmenšuje, dokud se zadní část automobilu neutrhne. [5]



*Obrázek 11 kruhová plocha [5]*



### 1.1.2. Laboratorní zkoušky

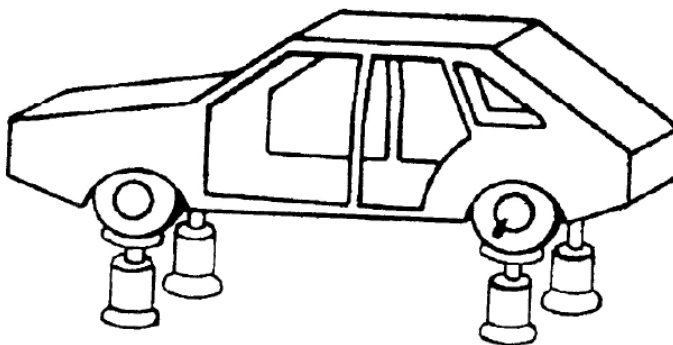
Jsou vykonávány souběžně se zkouškami provozními. Jsou zde zahrnuty funkční, životní a pevnostní zkoušky. Tyto zkoušky lze vykonávat nezávisle na počasí, ročním období, denní době či silničních podmínkách. Výhodou je, že nám urychlí provádění živnostních zkoušek automobilů. Zkoušky jsou někdy výhodnější, než provozní, ale je nutné automobil podrobit oběma typům testů. Jednou z hlavních výhod laboratorních zkoušek je, že můžeme danou testovanou část trvale kontrolovat a při vzniku poruchy sledovat i její šíření. [3]



Obrázek 12 laboratorní zkoušky nápravy [7]

#### 1.1.2.1. 4 – kanálový vertikální simulátor vozovky

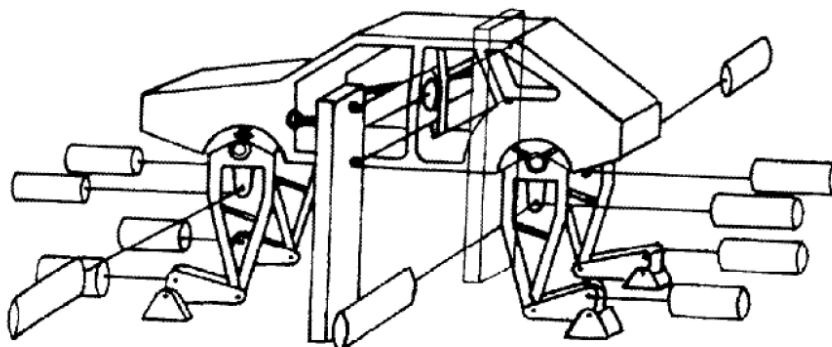
Připravovaná zkouška je realizována na základě naměřených dat, měřením simulujeme reálné provozní podmínky. Automobil dosedá všemi koly na čtyři hydraulické písty, jimiž se simulují jízdní nerovnosti. Proto je možné simulovat pouze ve svislém směru, což nám pomůže ve zkouškách např. tuhosti karoserie. [6]



Obrázek 13 schéma 4 – kanálového vertikálního simulátoru vozovky [3]

### 1.1.2.2. 14 – kanálový vertikální simulátor vozovky

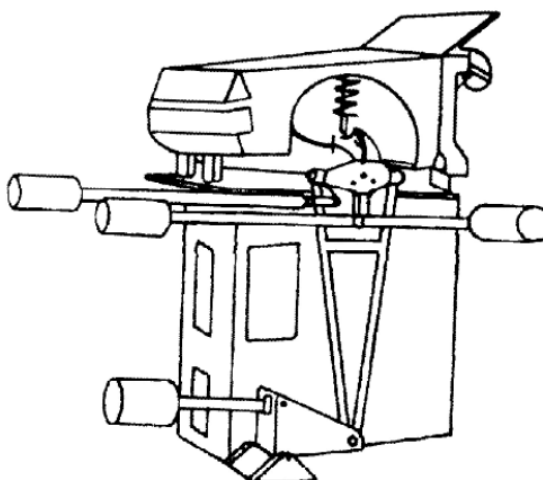
Automobil je připevněn ke stroji v místech uchycení kola a také karoserie je upevněna v podélném a bočním směru, proto je možné namáhání nízkofrekvenční a také podélné. Oproti 4 - kanálovému simulátoru vozovky se zde měří ve třech směrech  $F_x$   $F_y$   $F_z$  + dva reakční kanály pro simulaci brzd. [6]



Obrázek 14 schéma 14 – kanálového vertikálního simulátoru vozovky [3]

### 1.1.2.3. 4 – kanálový simulátor vozovky na jednu nápravu

Karoserie automobilu je pevně upevněna ke zkušební desce pod předním nárazníkem, dále u prostoru pro cestující, proto zde karoserie nekmitá, a tato metoda je proto využívána hlavně pro testování náprav, tlumičů a dalších. Hydraulické namáhání je tříosé, síly působí na nápravu stejně jako u 12 – kanálového simulátoru. [6]



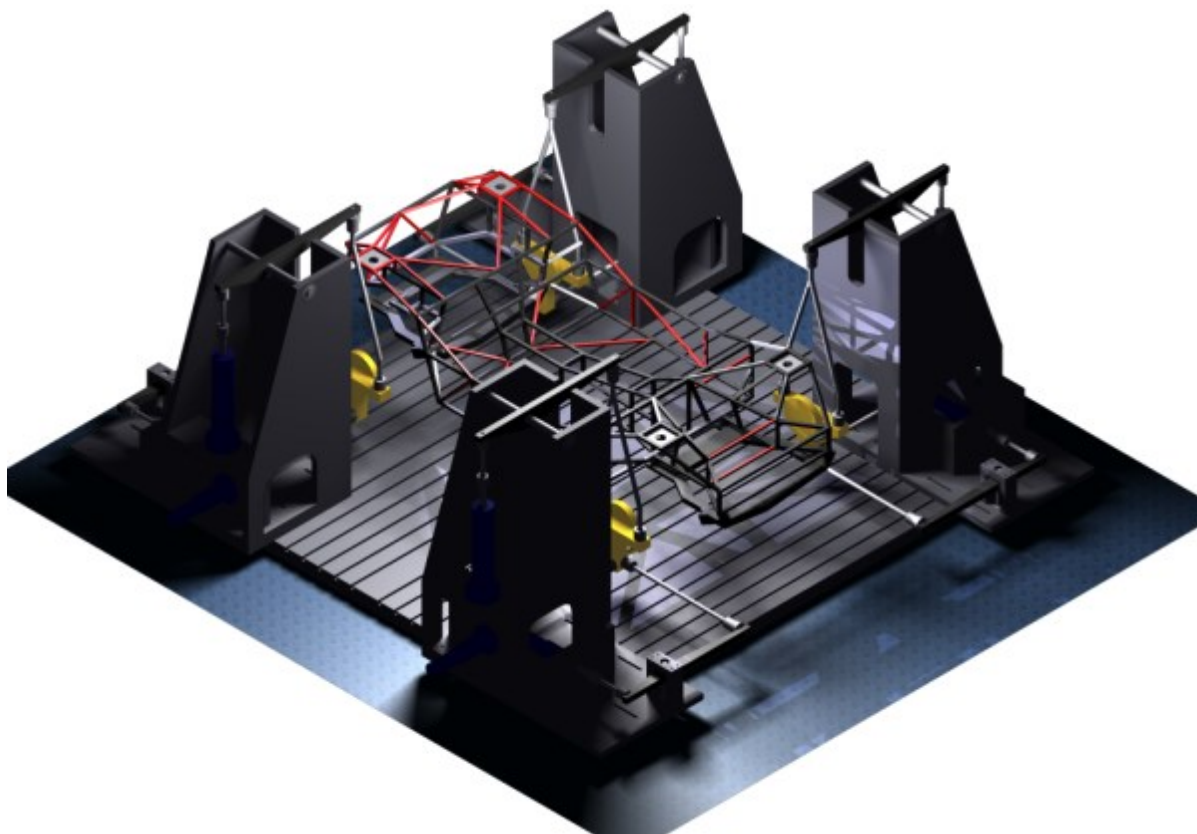
Obrázek 15 schéma 4 – kanálového vertikálního simulátoru vozovky na 1 nápravu [3]

### 1.1.3. Výstup provozních zkoušek do laboratoře

Během testování automobilů a jejich prototypů se kromě statických pevnostních simulací a zkoušek provádí také testování napodobňující reálné dynamické zatížení během jízdy. K těmto testům je využita dynamická zkušebna, která umožňuje zatěžovat jednotlivá kola automobilu podobně jako u provozních testů. Každé kolo je možno nezávisle zatěžovat ve třech osách, tak jak tomu je při reálné jízdě automobilu. Výstupními daty v místě měření jsou zatížení a zrychlení ve třech osách. Pro získání reálných dat z jízdy je automobil osazen velkým množstvím měřicích senzorů (tenzometrů a akcelerometrů), tak aby bylo měřeno ve všech námi potřebných místech. Získaná data jsou upraveny do vhodné podoby, předána do dynamické zkušebny a automobil je po-té testován na dynamické zkušebně. Z důvodu, že se z naměřených dat odstraní sekvence s nízkou zátěží a ponechají se pouze data obsahující vysokou zátěž, je možné na dynamické zkušebně automobil zatížit během krátké doby způsobem, který odpovídá mnoha dnům jeho reálného provozu. Z tohoto důvodu se hovoří o zrychlených životnostních zkouškách.

#### 1.1.3.1. Laboratoř VŠB

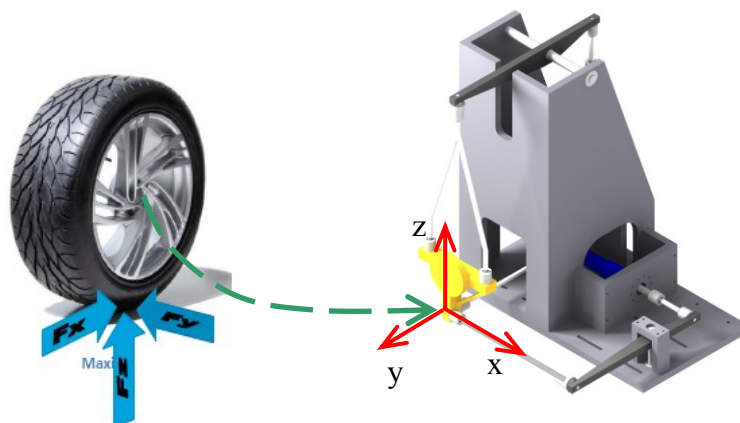
Základem laboratoře je pneumatický odpružený upínací stůl, který je shora opatřen upínacími ocelovými deskami s T drážkami, které umožňují připevnění přípravků a testovacích konzolí s hydraulickými válci. Pomocí přípravků se zde realizují testy zaměřené na kombinované namáhání automobilových součástí při dynamickém režimu zatížení. Dynamické zatížení je zde zajištěno hydraulickými válci. Celé pracoviště má stavebnicové uspořádání. Díky čtyřem „věžím“ zde můžeme testovat nejen části automobilů, ale také celá auta. Věž je vyrobena z několika ocelových (C45 - 12050) desek o tloušťce 50 mm a dále svařená plným průvarem do požadovaného tvaru. Každé hnízdo – věž je osazena třemi hydraulickými na sebe kolmými válci, které umožňují dosáhnout síly až 25kN ve vodorovných směrech, až 40kN ve svislém směru. Na následujícím obrázku pak vidíme čtyři osazené testovací hnízda, mezi kterými je osazen testovací rám.



*Obrázek 16 3D model dynamické zkušebny s upevněným rámem vozidla [1]*

#### **1.1.3.2. Životnostní zkoušky vozidel**

Pro tyto zkoušky se musí nastavit podmínky zatěžování při reálné jízdě a to hlavně simulací změn polohy, zrychlení a rychlosti ve třech osách na každé kolo. Během jízdy vozidla je na styčné ploše každého kola s vozovkou vyvozována reakční síla. Její tří-osý systém s danými složkami se zavede ve směru jízdy, směru kolmém na vozovku a ve směru kolmém na směr jízdy jak je znázorněno na obrázku č. 17. Zrychlená simulace provozního zatížení se realizuje třemi hydraulickými válci na každém kole. Tudiž celá soustava je tvořena 12 hydraulickými válci. Válce na zkušebně mají maximální sílu 25 kN ve vodorovné ose a 40 kN ve svislé ose. Maximální zdvih všech válců je 200 mm. Je potřeba si však uvědomit, že jak sílu válce, tak i jeho zdvih je potřeba přepočítat z důvodu převodu na páce konzoly. Páky jsou navrženy tak, že převod je vždy 2:1.

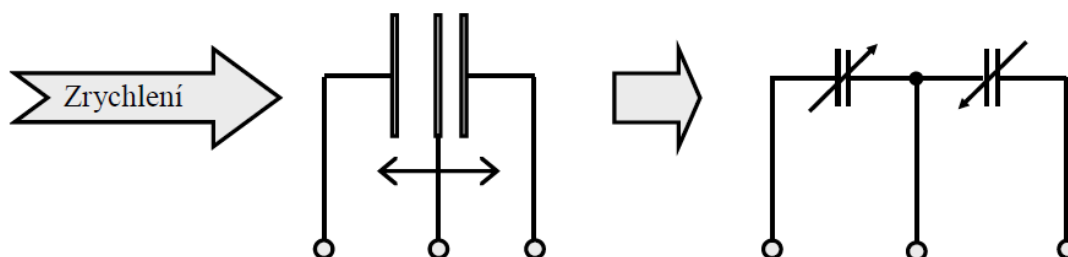


Obrázek 17 působení sil

### 1.1.3.3. Sestava měřicí ústředny a senzorická síť akcelometrů

Měření provozního zatížení na nápravách se provádí za pomoci různých senzorů, nejčastěji používané jsou senzory zrychlení. Použité akcelerometry MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) typu MMA7456 jsou miniaturní levné snímače zrychlení s rozsahem až  $\pm 8g$  a jsou vhodné pro záznam dynamických zatěžovacích sil. Maximální nedestruktivní zrychlení snímače je pak 5000g. Použitý snímač je rozšířený o mikroprocesor, za pomoci kterého je možné komunikovat přes CAN sběrnici a vytvořit síť senzorů, které mohou být umístěny libovolně po vozidle, v tomto případě na nápravě. Za pomoci CAN sběrnice je nutné senzory ovládat, a naměřené hodnoty ukládat pro pozdější zpracování.

Konstrukční řešení snímače tvořeno poměrnými kondenzátory s pohyblivou částí a třemi elektrodami (Obrázek č. 18). Zrychlení působící na snímač způsobí vychýlení pohyblivé elektrody a tím dojde ke změně kapacity. Toto řešení je výhodné v tom, že je možné měřit i statické zrychlení. Námí použitý akcelerometr dokáže měřit zrychlení ve třech osách, a tak jsou v něm obsaženy tři takovéto jednoduché akcelerometry.

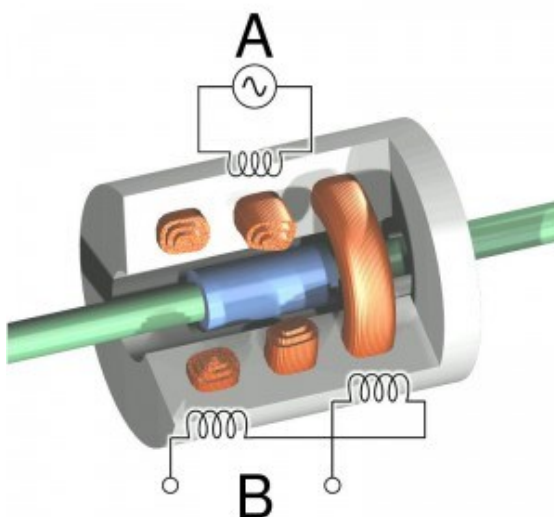


Obrázek 18 konstrukční řešení snímače [18]



#### 1.1.3.4. LVDT měření

Jedná se o kontaktní detekci přiblížení, nebo měření malých pohybů pevných předmětů v řádech jednotek nebo desítek mm. Je zde využívána změna magnetického toku / odporu v lineárním proměnném diferenciálním transformátoru. Válec tvoří 3 válcové cívky, přičemž první samostatná cívka tvoří primární část, druhé a třetí vinutí jsou zapojeny sériově ve vzájemné protifázi (to znamená, že se jejich napětí mezi sebou odečítá) a jsou vyvedeny jako sekundární část (Obrázek č. 19). Je zde feromagnetické jádro (kotva), které je buď připevněné, nebo tvoří pevnou část na zmíněné pohyblivé tyčince. Primární vnutí je umístěno v prostoru mezi oběma sekundárními vinutími, je napájeno sinusovým signálem s konstantní frekvencí a napětím. Pohybem jádra je způsobena změna magnetického toku a tím i změna hodnoty indukovaného napětí v obvodu sekundárního vinutí. Jestliže se kotva nachází v prostoru přesně uprostřed mezi vnutími, pak je jejich napětí stejně velké a vzájemně se odečítá (proto na sekundárním vnutí, neměříme žádné napětí). Ale pokud se díky posuvu tyčinky větší část jádra přesune k jednomu nebo druhému vinutí, pak se na výstupu objeví rozdílové střídavé napětí stejné frekvence jako na primární části, jejíž amplituda odpovídá rozdílu napětí jednoho sekundárního napětí od druhého. Proto je možné zaznamenat pohyb tyčinky, elektricky od sebe odlišit obě vinutí a tím pádem identifikovat směr pohybu. Za pomoci změny rychlosti amplitudy výstupního napětí lze určit i rychlost pohybu testovaného předmětu. [9] [10]

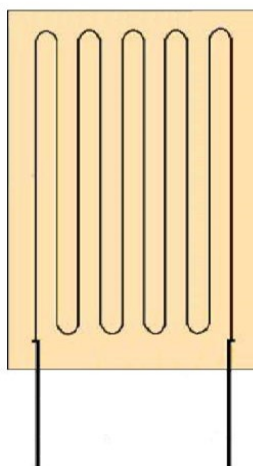


Obrázek 19 řez LVDT jádra a vnutí [8]

A- Primární vnutí, B- sekundární vnutí

### 1.1.3.5. Tenzometr

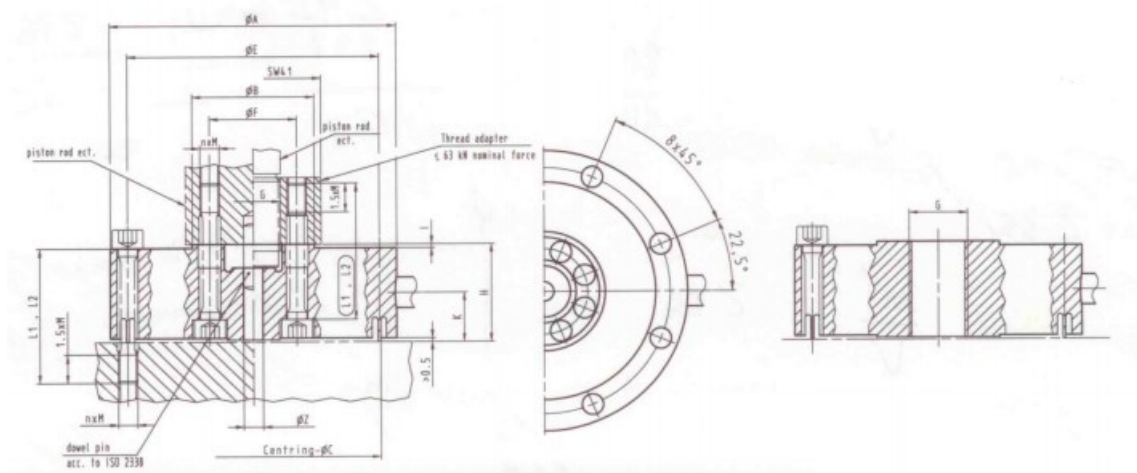
Jedná se o pasivní elektrotechnickou součástku, která se používá k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu součásti prostřednictvím měření její deformace. Spolu s dalšími přístroji se tenzometr používá v několika oblastech, pro analýzu a zjišťování namáhání konstrukčních prvků, částí i celých konstrukcí (svařence, karoserie, mostní konstrukce), dále pro vývoj a konstrukci pro praktické ověření návrhu v simulovaných i reálných podmínkách, v praxi se používá pro skutečné provozní zatížení konstrukcí, také se používá jako zabudovaná součást jiných přístrojů a zařízení, kde měřená veličina je často síla (tenzometrické siloměry, tenzometrické váhy atd.) Dřívější tenzometry (mechanické, optické, akustické, pneumatické) nahradily tenzometry elektrické (odporové, polovodičové), jedná se o pasivní čidla nalepená na povrch testované součásti (páskové tenzometry) nebo pevně spojená s měřeným tělesem (průmyslové tenzometry pro váhy), které převádí mechanickou deformaci na změnu elektrického odporu. Jestliže je vodič tenzometru pevně spojen s povrchem namáhaného objektu, je stejně deformován jako objekt. Jakmile je natahován, tak se jeho délka zvětšuje, zmenšuje průřez a podle daného materiálu, se mění i jeho měrný elektrický odpor. Rušivými vlivy působícími na měření tenzometru jsou teplota (ovlivňuje nejen vodivost materiálu tenzometru, ale její změna způsobuje i teplotní roztažnost tenzometru), vlhkost (hygroskopická nosná podložka mění své rozměry podle obsahu vody, některá lepidla mění s vlhkostí své vlastnosti), elektromagnetické pole (elektrická složka pole se dá snadno odstínit, dané problémy však může způsobit silné střídavé magnetické pole a s ním spojená indukce v přírodních kabelech. [17])



Obrázek 20 drátový tenzometr [17]

### 1.1.3.6. Snímač síly GTM K 25 kN

Tento snímač síly pracuje na principu rotačně symetrického deformačního členu. Snímač na rozdíl od jiných tenzometrů nemá žádná hluchá místa při zachycování zatížení. Daná síla, která působí na materiál je kompletně zachycena. Rušivé síly a ohybové momenty, které měření doprovázejí při excentrickém zatížení, tento senzor nikterak neovlivňují. Tento snímač je vhodný hlavně pro aplikace, které vyžadují vysokou přesnost ve velkém rozsahu, nebo kde by rušivé síly mohli ovlivnit výsledky měření. [11]



Obrázek 21 snímač GTM K 25 kN

### 1.1.3.7. Teoretické zpracovávání dat

Při testování na vozidle se používají akcelerometry, za pomoci kterých měříme zrychlení, které působí na kola vozidla. Hydraulické válce se ale při zrychlené životnostní zkoušce řídí polohou (vysunutím). Z tohoto důvodu je nutné převést zrychlení na polohu. Abychom toho dosáhli, musíme použít dvojistou integraci podle vztahů: [8]

$$a = \frac{dv}{dt} [m \cdot s^{-2}] \quad v = \frac{ds}{dt} [m \cdot s^{-1}]$$

$a$  = zrychlení ( $m \cdot s^{-2}$ ),  $v$  = rychlost ( $m \cdot s^{-1}$ ),  $s$  = poloha (m)

Jakmile vztahy obrátíme, získáme požadovanou polohu:

$$v = \int_0^t a \cdot dt + v_0, \quad s = \int_0^t v \cdot dt + s_0$$

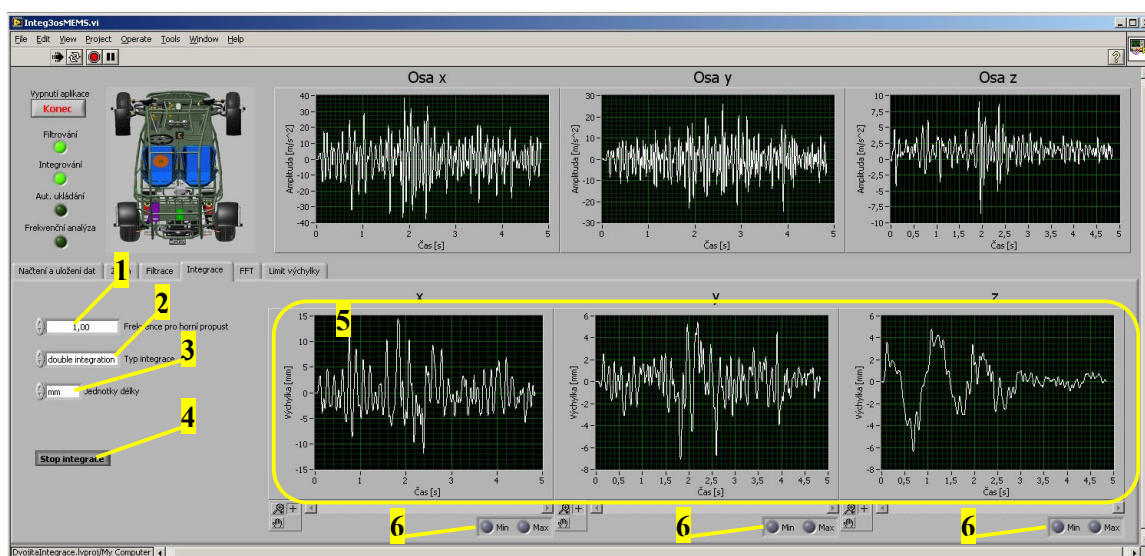
Pro zjednodušení, počáteční hodnoty rychlosti a dráhy jsou nulové.

$$s = \int_0^t a \cdot dt$$

Za pomoci dvojné integrace zrychlení získáme polohu. Díky tohoto postupu se nám zde váží dva problémy, které musíme řešit:

- Skutečná změna polohy vozidla nese i převýšení zkušební dráhy a v testu je možné, že bude i ve stovkách metrů nebo v kilometrech, bohužel na zkušebně mají válce zdvih pouze v centimetrech, proto polohu nelze přenést přímo na válce.
- Všechna reálná měření jsou zatížena parazitními údaji a šumem. Šum je vlastností digitálního převodníku. Dvojitá integrace těchto doprovodných prvků nám může náhodně generovat změny polohy, které ve skutečnosti nenastaly.

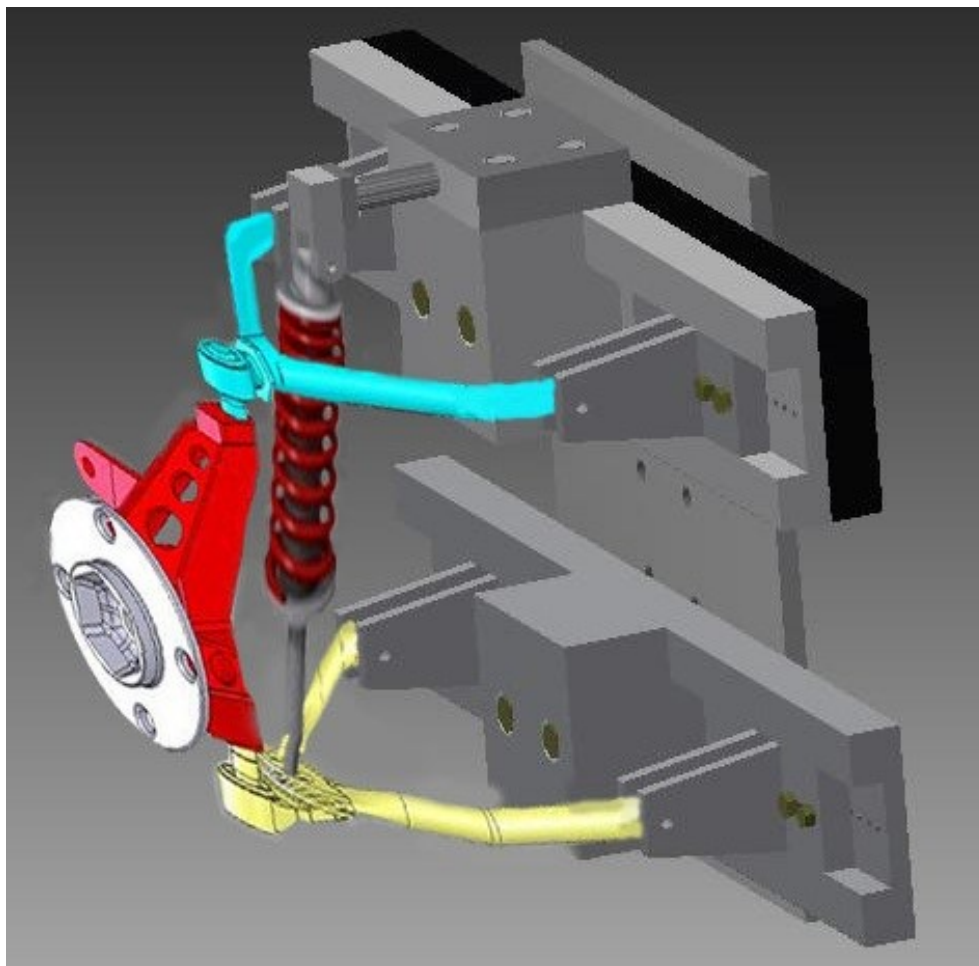
Tyto problémy nám ovlivňují naměřená data, které je nutné pak upravit do podoby vhodné pro dynamickou zkušebnu. Pro řešení těchto problémů se používá digitální filtrace naměřených dat. Digitální filtry jsou již obsaženy v SW vyvinutém na Katedře materiálů a technologií pro automobily



Obrázek 22 okno pro nastavení jednoduché nebo dvojné integrace

1 – nejnižší frekvence pro filtr horní propust, který je součástí nástroje pro integraci, 2 – zvolení typu integrace (jednoduchá – zrychlení/ rychlost, dvojná integrace – zrychlení/ poloha, 3 – jednotky (délky) pro integraci, 4 – spuštění / zastavení integrace, 5 – zobrazení výsledků integrace, 6 – upozornění na dosažení a překročení nastavených mezí.

## **2. Návrh zkušebního přípravku, včetně 3D modelu s popisem dalších částí zkušebního stendu**

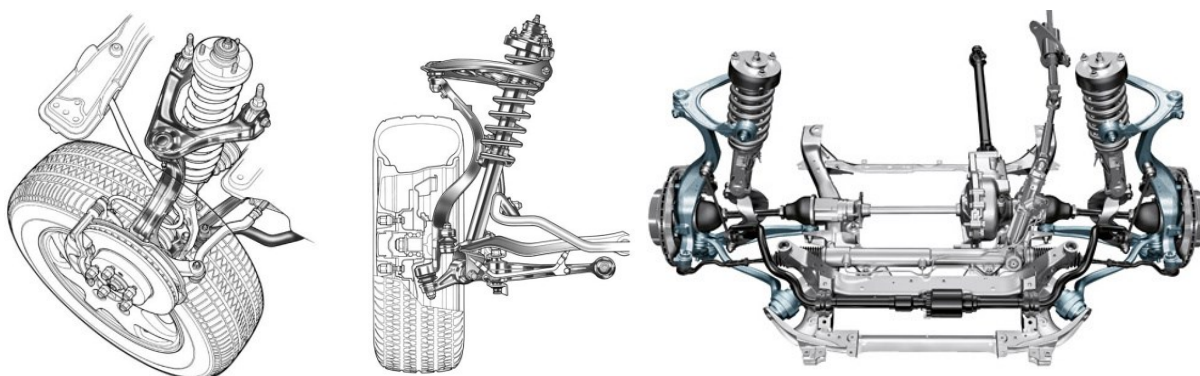


*Obrázek 23 uchycení nápravy v přípravku[13]*

Přípravek se skládá z několika částí, které jsou k sobě spojeny šroubovými spoji. Je sestaven pro lichoběžníkové nápravy. Jelikož jeho části nebudou k sobě pevně svařeny, je možné jej využít pro testování jakékoliv lichoběžníkové nápravy a po výměně některých částí, také pro ostatní typy náprav. Přípravek spojíme pomocí 4 šroubů ke stojící věži v laboratoři, k němu se připevní testovaná náprava, jak je znázorněno na obrázku č. 23 a za pomoci pulsátoru bude na nápravu vyvíjen tlak, který způsobí namáhání materiálu. Výsledky budou sloužit pro zlepšování konstrukcí náprav.

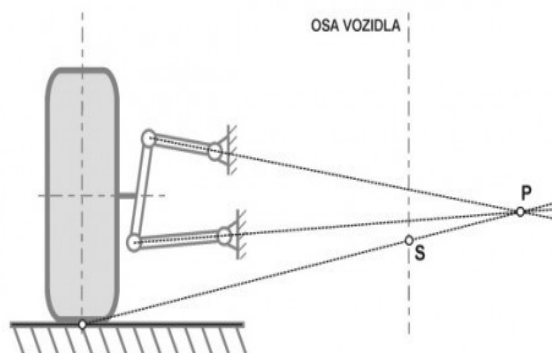
## 2.1. Lichoběžníková náprava

Lichoběžníkové zavěšení je realizováno pomocí dvou nestejně dlouhých příčných ramen, přičemž horní rameno je kratší. Prostřednictvím těchto ramen jsou kola zavěšena k nápravnici, rámu, případně skříni rozvodovky. Vhodnou volbou vzájemného poměru délek obou ramen lze dosáhnout velmi příznivé kinematiky. Lichoběžníková náprava je vhodná jako řídicí a zároveň může být použita i jako hnací. [15]



Obrázek 24 lichoběžníková náprava [16]

Při propružení lichoběžníkové nápravy dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti kol i změně rozchodu kol. Všechny tyto změny mají nepříznivý vliv na jízdní vlastnosti automobilu, vhodnou volbou geometrie ramen však můžeme tyto nepříznivé vlivy minimalizovat. Například leží-li okamžitý střed klopení kola  $P$  daleko od kola, pak při propružení vznikají jen malé změny odklonu a rozchodu kol, což je dobré pro jízdní vlastnosti. Pro malé výchylky se pohyb kola určí opsáním kružnice z bodu  $P$  do stopy kola. Bod  $S$  je střed klopení karoserie.



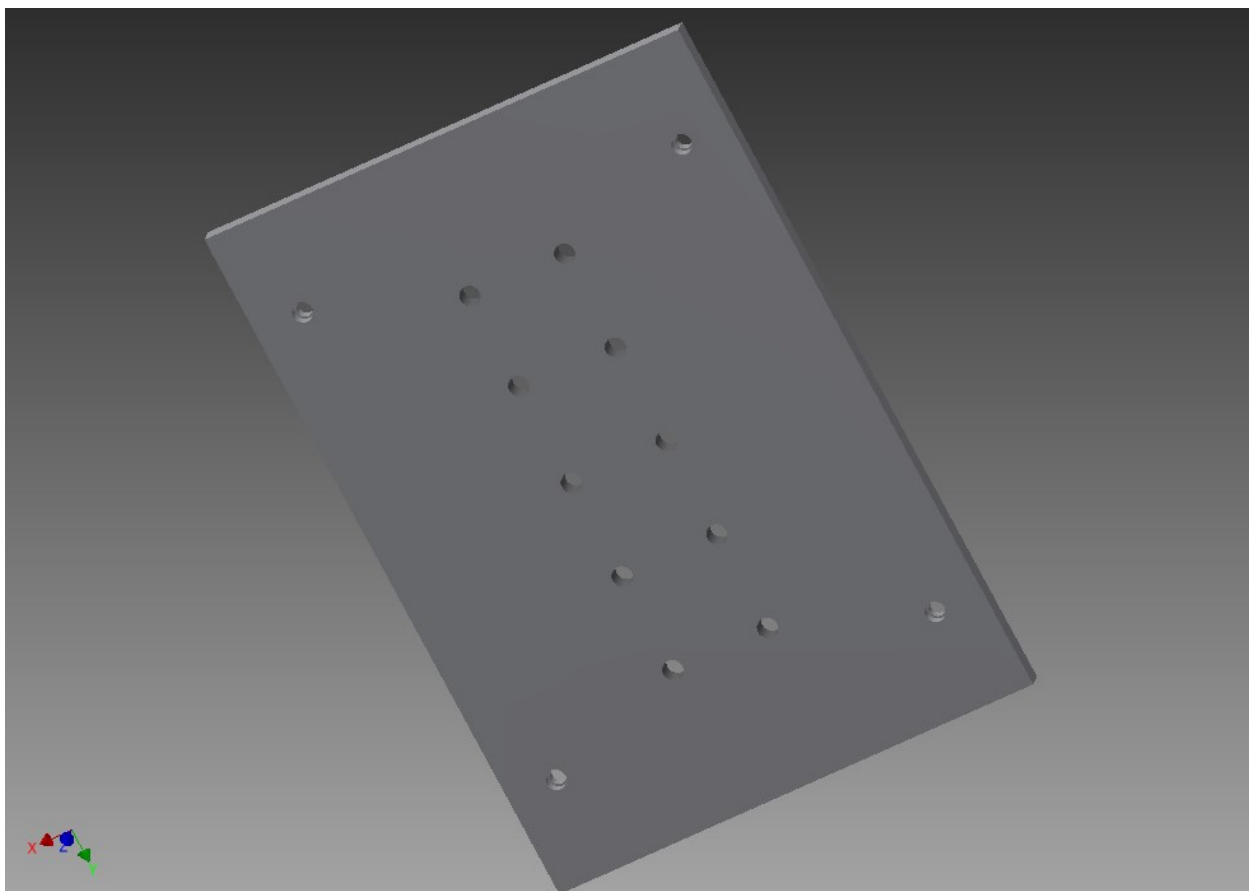
Obrázek 25 odklon kola [16]



Pro zvláštní případ rovnoběžných ramen, je střed klopení kola  $P$  v nekonečnu a střed klopení karoserie  $S$  leží na vozovce. Při malých propruženích kola se odklon nemění vůbec a rozchod kol jen nepatrně. To ovšem platí jen pro stejně dlouhá ramena. Výhodou lichoběžníkové nápravy je možnost velmi nízké stavby v porovnání s nápravou MacPherson nebo s tuhou nápravou. Zabírá také méně místa než tuhá náprava. Její konstrukce je však nákladnější, a proto se nejčastěji používá na předních nápravách vozů vyšších tříd. Náprava zaručuje dobré jízdní vlastnosti. [15]

## 2.2. Základní deska

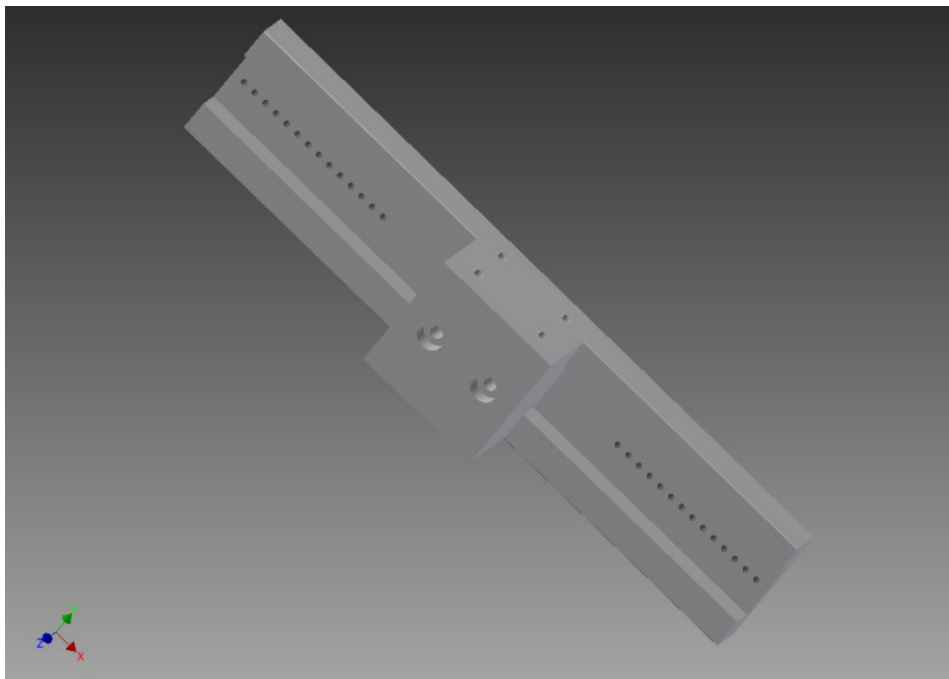
Základní deska bude vyřezána z plechu o tloušťce 20 mm a budou do ní navrtány 4 otvory pro uchycení k testovací věži, dále 10 děr se závitem pro připevnění hlavních částí přípravku. Tyto díry budou sloužit jako rozteč mezi vrchním a spodním ramenem lichoběžníkové nápravy.



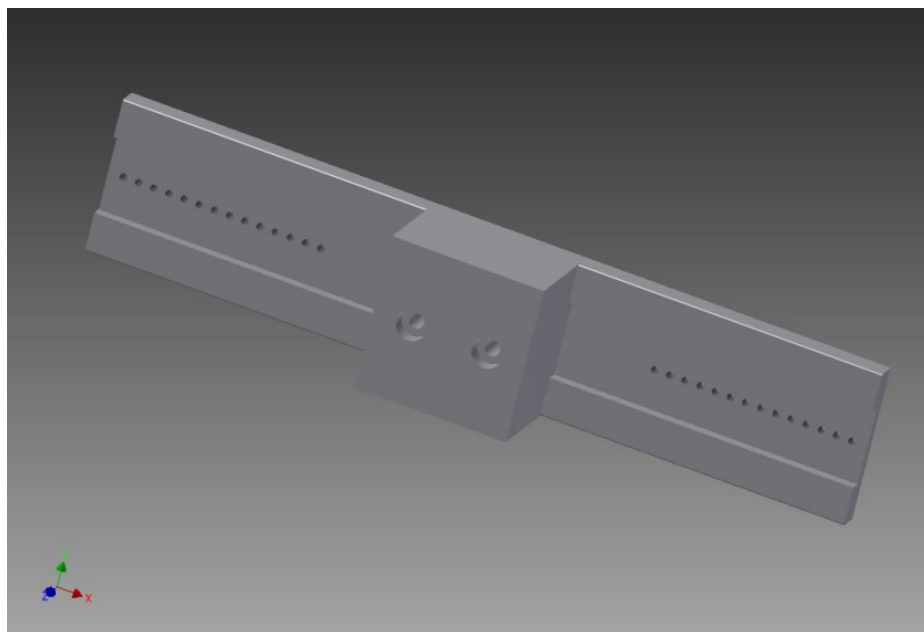
Obrázek 26 základní deska

### 2.3. Hlavní část

Hlavní části jsou dvě (horní a spodní). Obě části jsou si podobné, budou upevněny k základní desce dvěma šrouby. Mají obdélníkový tvar, budou v nich vyřezány kolejničky, v kterých budou jezdit packy, pomocí kterých se uchytí lichoběžníkové ramena. Jak jsem již zmiňoval, liší se od sebe jen tím, že na horní hlavní části jsou udělány díry se závitem, ke kterým se přišroubuje úchyt pro uchycení tlumiče.



*Obrázek 27 horní hlavní část*

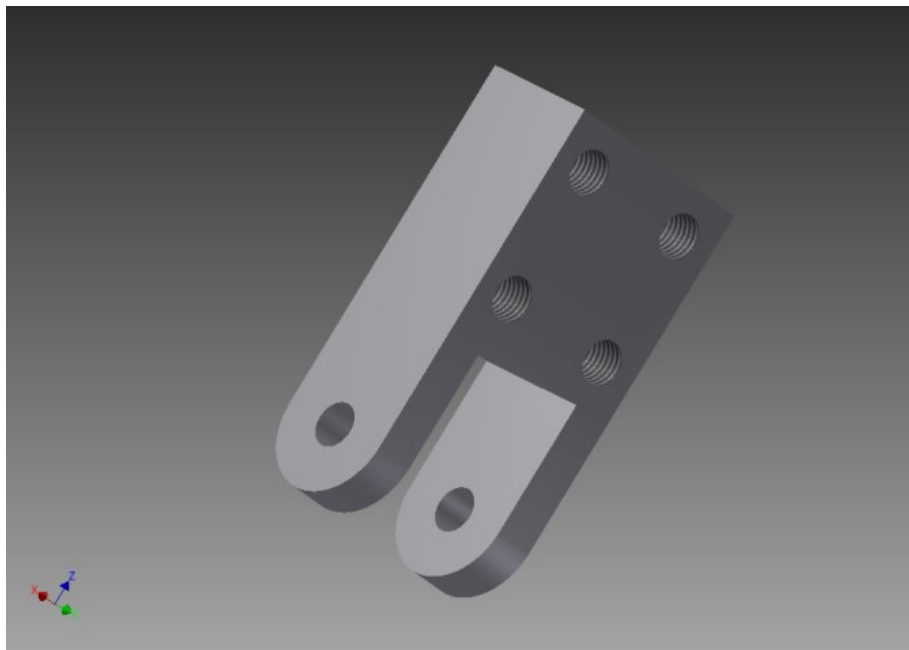


*Obrázek 28 spodní hlavní část*

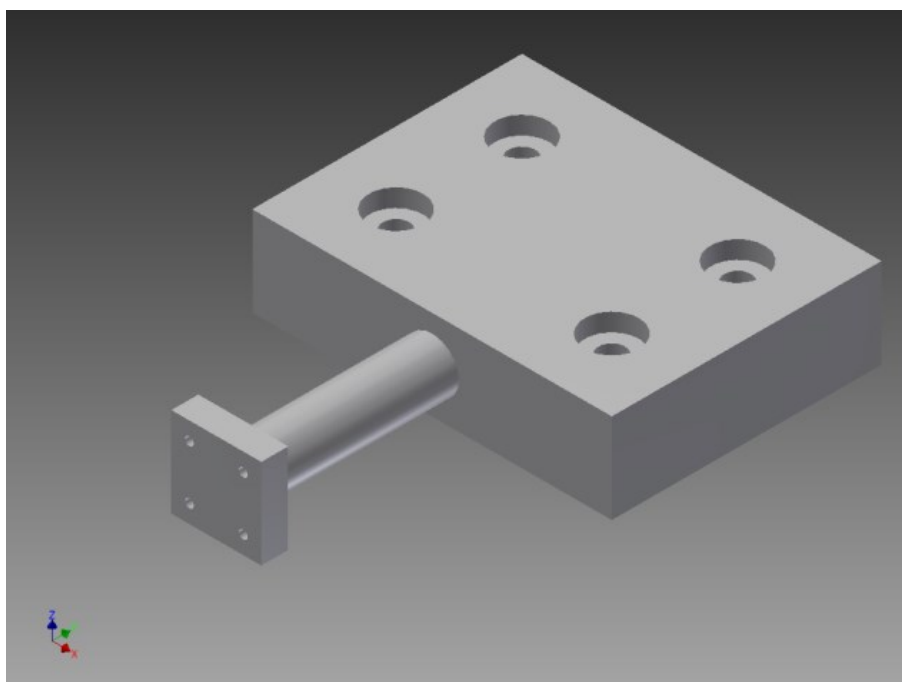


## 2.4. Uchycení tlumiče

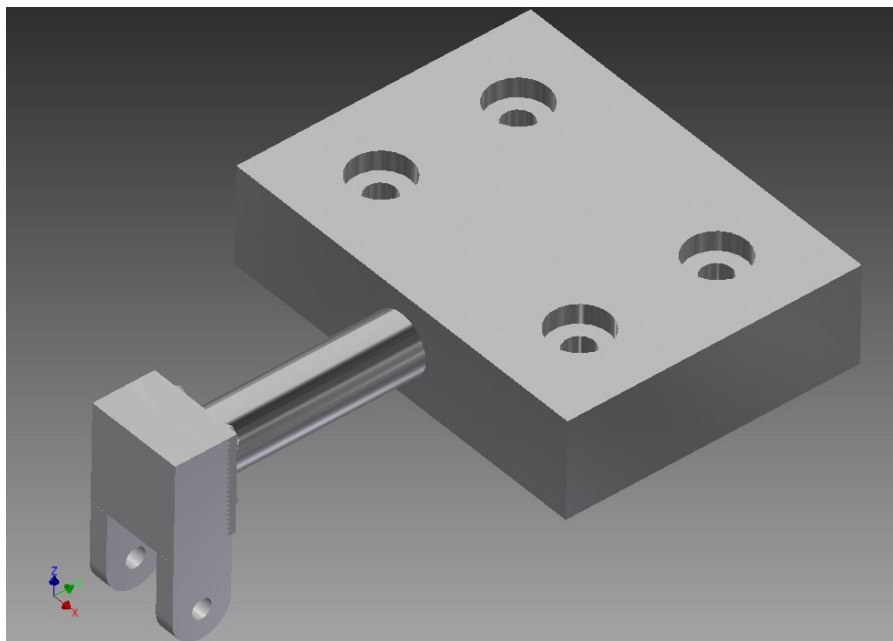
Jak jsem se již zmiňoval, je zde další část, která nám umožní uchytit tlumič do dané polohy, a jelikož je z několika částí, lze ji využít na jakoukoliv velikost a vzdálenost tlumiče. Skládá se ze základny, z které ústí hřídel, a na konci je navařen tlustý plech, který má 4 díry, pomocí nichž je možné měnit redukce na uchycení tlumiče.



*Obrázek 29 redukce uchycení tlumiče*



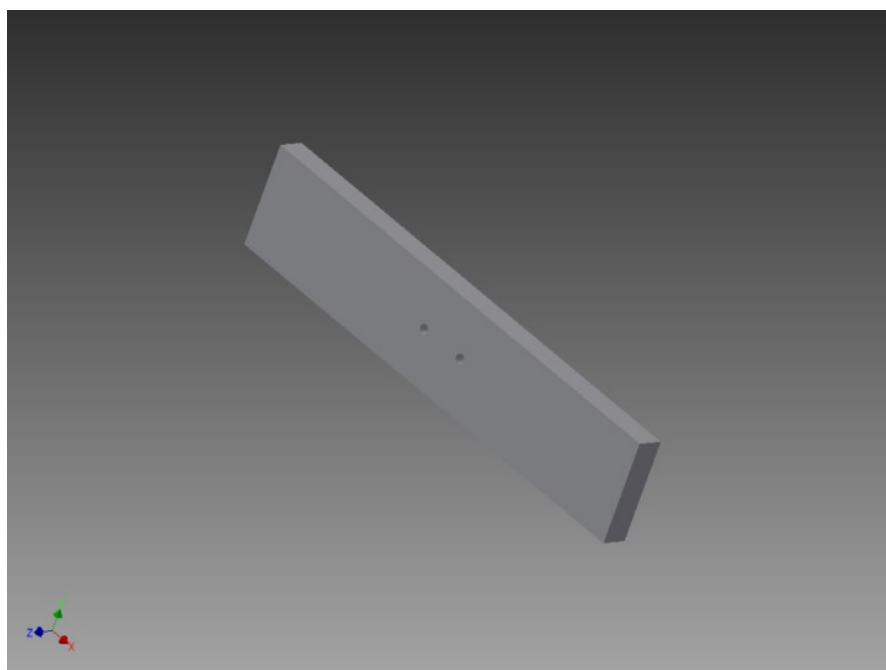
*Obrázek 30 základna uchycení tlumiče*



*Obrázek 31 celkové uchycení tlumiče*

## **2.5. Redukce**

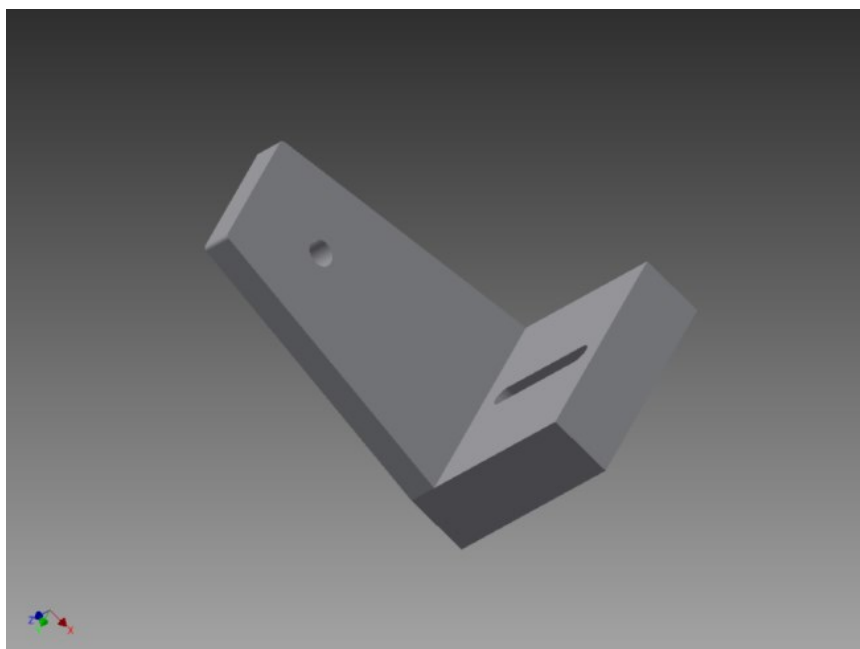
Z důvodu, že lichoběžníková náprava má každé rameno jinak vzdálené musela se vyrobit také redukce, pomocí které můžeme nastavit přesnou vzdálenost vrchního ramene, které je vždy kratší. Redukce je vyřezána z tlustého plechu a jsou v ní vyvrtány otvory pro šrouby.



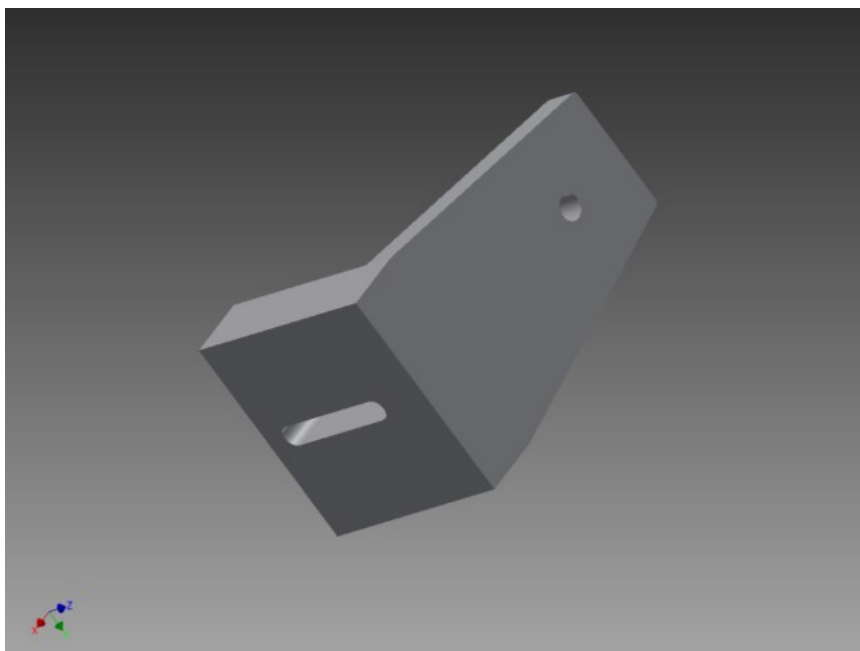
*Obrázek 32 redukce*

## 2.6. Úchyt ramen lichoběžníkové nápravy

Poslední část tvoří uchycení ramen, bude mít podobu písmene L. V tomto uchycení bude na spodní straně vyřezána oválná díra, na boční bude díra pro šroub M12, pomocí níž se bude náprava pevně spojovat s přípravkem. Tím zajistíme testování lichoběžníkových náprav.



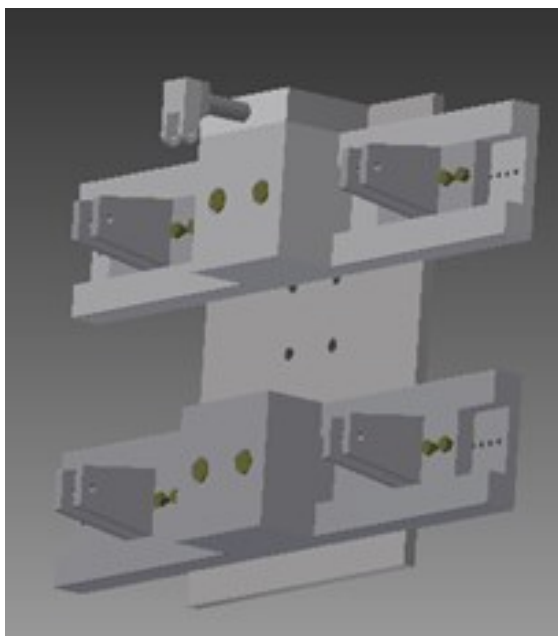
*Obrázek 33 úchyt*



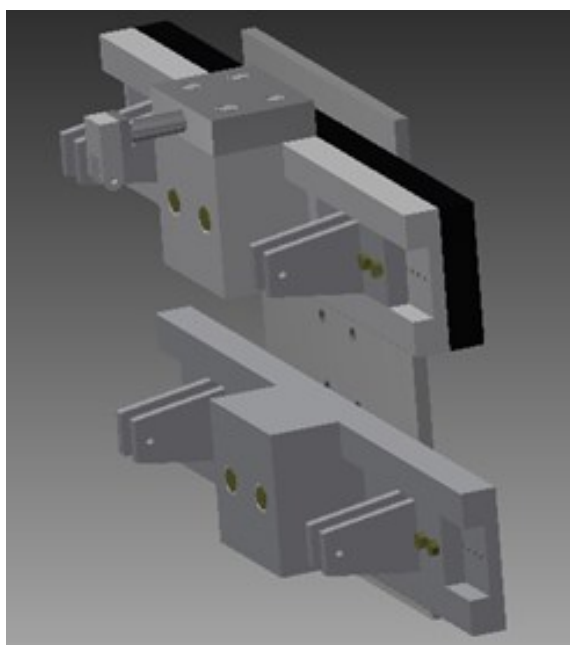
*Obrázek 34 úchyt zadní pohled*

## 2.7. Celkový přípravek k uchycení

Všechny tyto předem zmiňované díly se pomocí šroubu spoji dohromady, připevní k testovací věži, za pomoci které se náprava bude testovat.



*Obrázek 35 celkový přípravek*



*Obrázek 36 celkový přípravek s redukcí*

### **3. Kompletní výrobní dokumentace přípravku**

Níže v práci jsou uvedeny příklady tří výkresů. Kompletní výrobní dokumentace je obsažena v příloze bakalářské práce.

**Přípravek se skládá z:**

Základní deska (viz. Obr. 37 a příloha)

Hlavní část vrchní (viz. příloha)

Hlavní část spodní (viz. Obr. 38 a příloha)

Uchycení tlumiče redukce (viz. příloha)

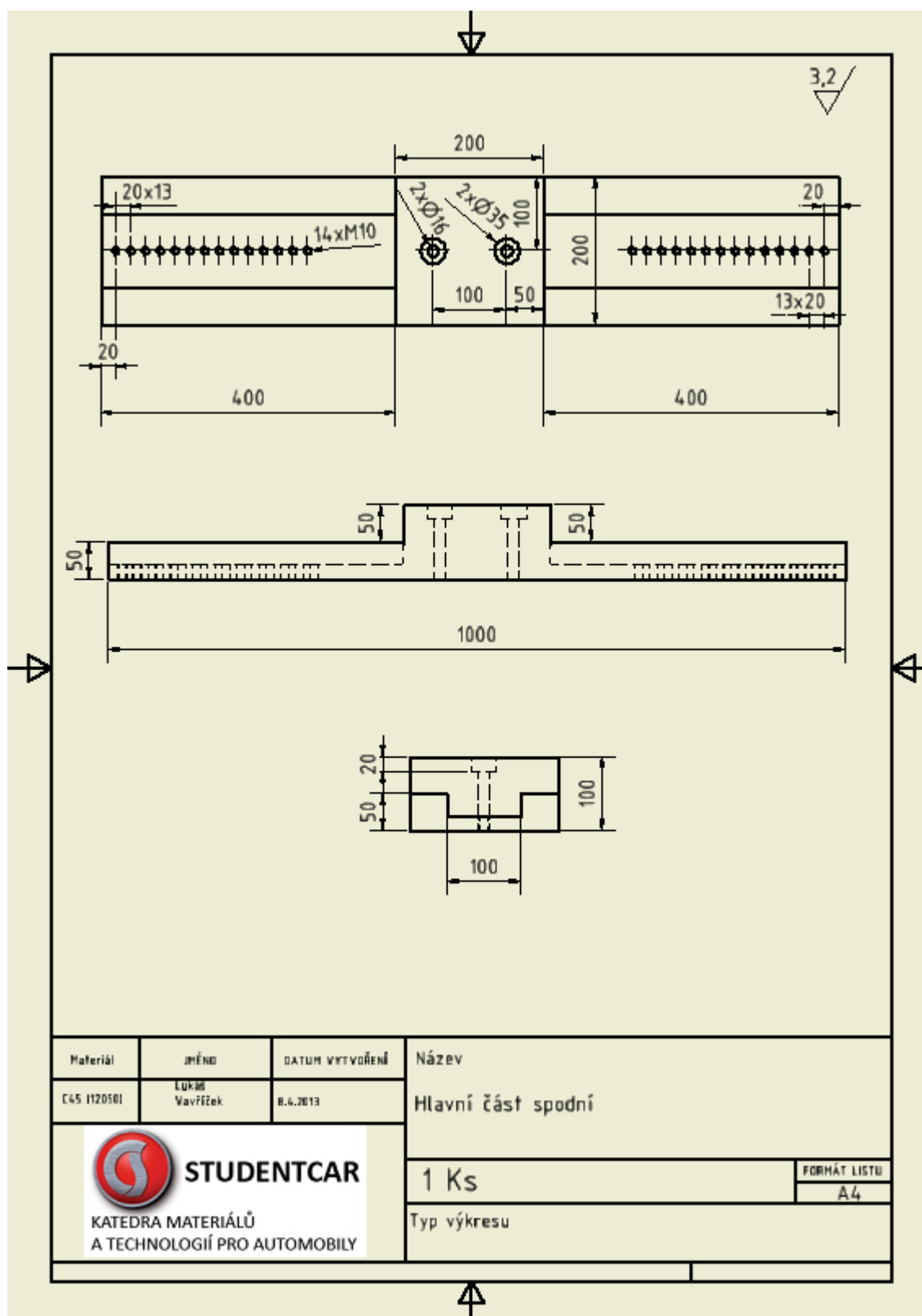
Uchycení tlumiče hlavní (viz. Obr. 39 a příloha)

Redukce (viz. příloha)

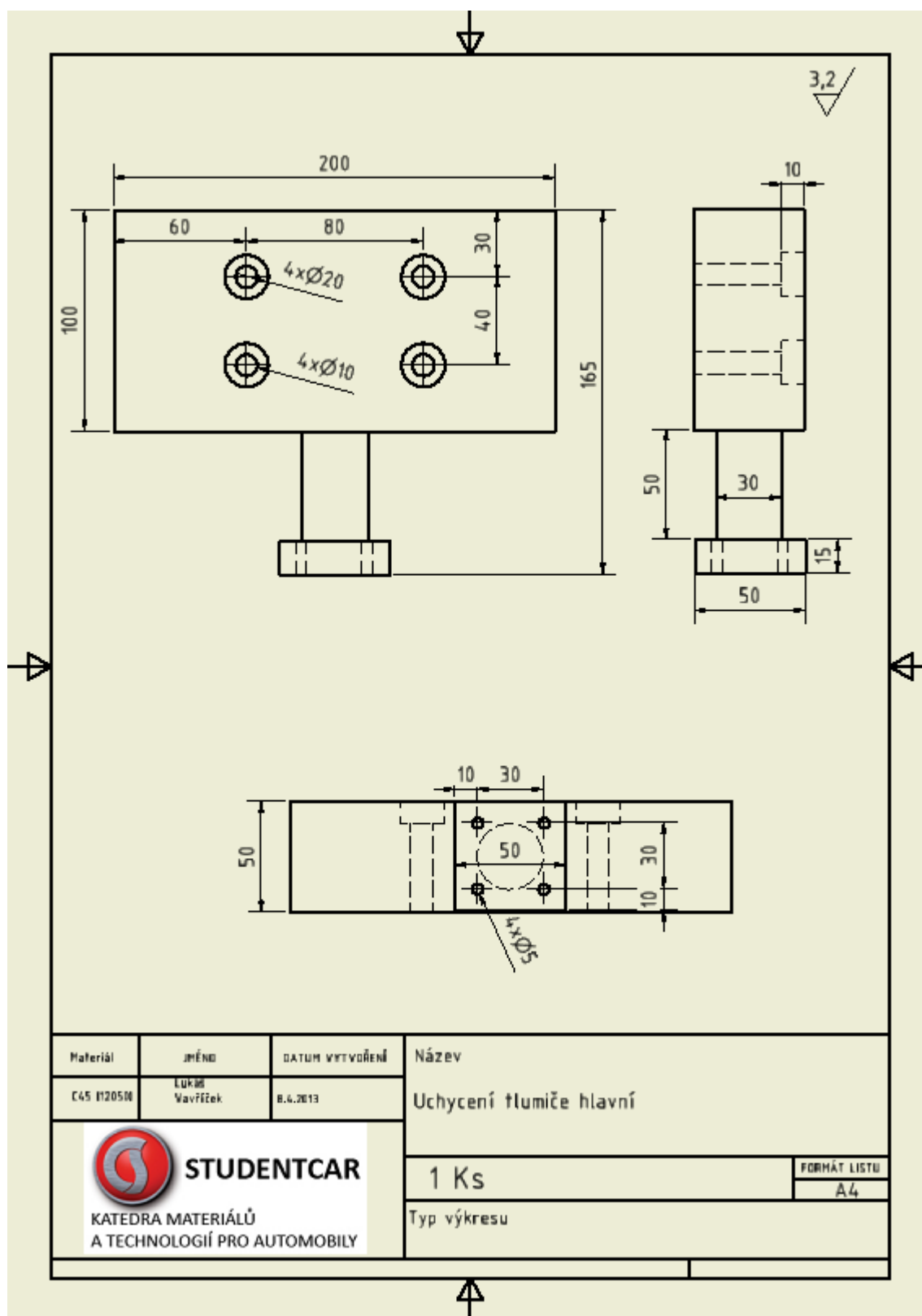
Úchyt ramen (viz. příloha)

Celkový přípravek (viz. příloha)





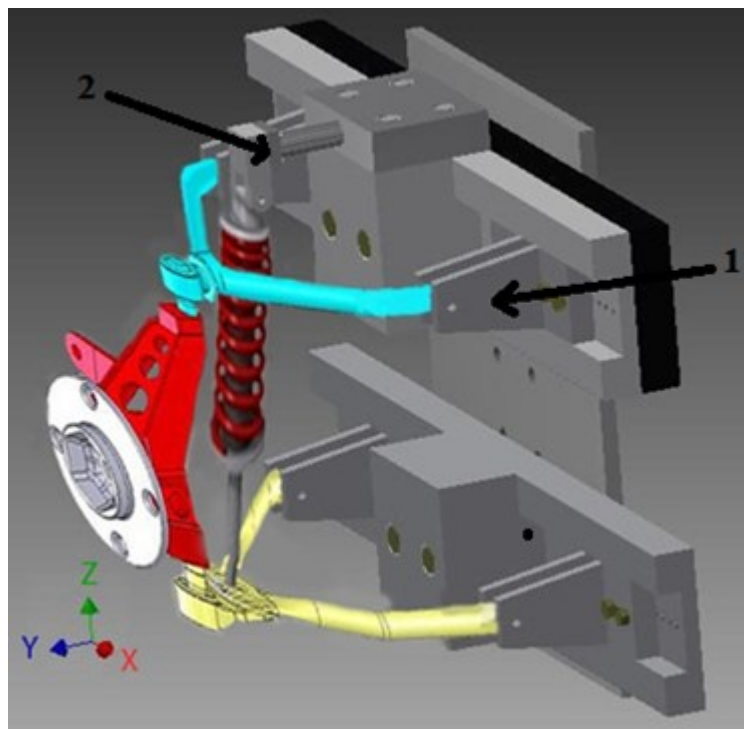
Obrázek 38 výkres hlavní část spodní



Obrázek 39 výkres uchycení tlumiče hlavní



#### 4. Analýza navrhnutého zkušebního přípravku



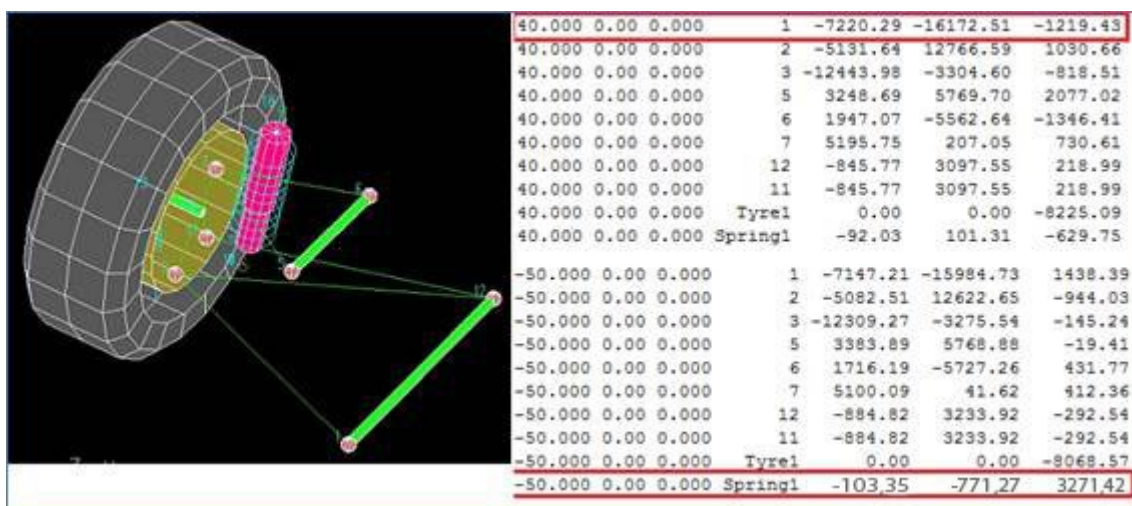
*Obrázek 40 uchycení nápravy se směry sil*

Přípravek pro uchycení lichoběžníkových náprav bude vyroben z materiálu C45 (12050). Jedná se o uhlíkovou ocel, která je vhodná pro výrobu zatěžovaných částí, jako například (ojnice, pístnice, vřetena, písty kompresorů, čepy, šrouby atd.). Vlastnosti materiálu pevnost v tahu  $R_m - 600$  [MPa], mez kluzu  $R_e - 355$  [MPa].

Pro výpočty jsme použili hodnoty, které jsme dostali za pomoci programu Lotus suspension analysis. Hodnoty pro dosazování jsou vidět na obrázku č. 41. Byly uvažovány extrémní hodnoty, abychom pokryli mezní stavy.

Reakční síly v úchyty nápravy ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ): -7220 N, -16173 N, -1219 N

Reakční síly v úchyty tlumiče ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ): -103 N, -771 N, -3271 N

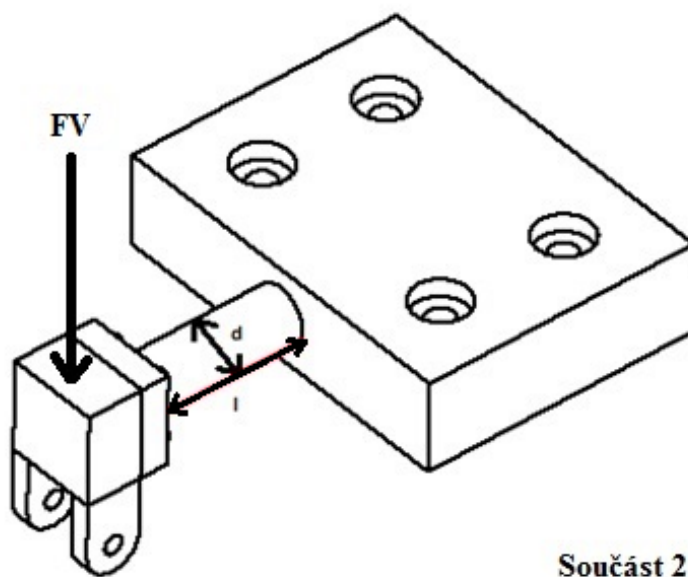


Obrázek 41 síly pro výpočet

Navrhovaný přípravek bude cyklicky zatěžován v režimu vysokocyklové únavy, proto byl zvolen vysoký koeficient bezpečnosti vůči mezi kluzu.

Výpočty jsou prováděny staticky, s vysokým koeficientem bezpečnosti, k mezi kluzu  $K=5$ .

#### 4.1. Ohyb úchyty tlumiče



Obrázek 42 uchycení tlumiče

$l = 50 \text{ mm}$ ,  $d = 30 \text{ mm}$

Abychom mohli vypočítat moment  $M_o$  působící na uchycení nápravy, je nutné si vypočítat výslednici v prostoru, která se vypočítá z reakčních sil působících na úchyt tlumiče.

Reakční síly v úchytu tlumiče ( $F_x, F_y, F_z$ ): -103 N, -771 N, -3271 N

$$\sigma_{pov} = \underline{\underline{71 \text{ MPa}}}$$

### Výslednice v prostoru

$$F_v = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

$$F_v = \sqrt{(-103^2) + (-771^2) + (-3271^2)}$$

$$F_v = \sqrt{10609 + 594441 + 10699441}$$

$$F_v = \underline{\underline{3362 \text{ N}}}$$

### Moment $M_o$ působící na uchycení tlumiče

$$M_o = F_v \cdot l$$

$$M_o = 3362 \cdot 50$$

$$M_o = \underline{\underline{168100 \text{ N} \cdot \text{mm}}}$$

### Modul v ohybu $W_o$ v ose z

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$W_o = \frac{3,14 \cdot 30^3}{32}$$

$$W_o = \underline{\underline{2649,38 \text{ mm}^3}}$$

### Celkový svislý ohyb uchycení tlumiče

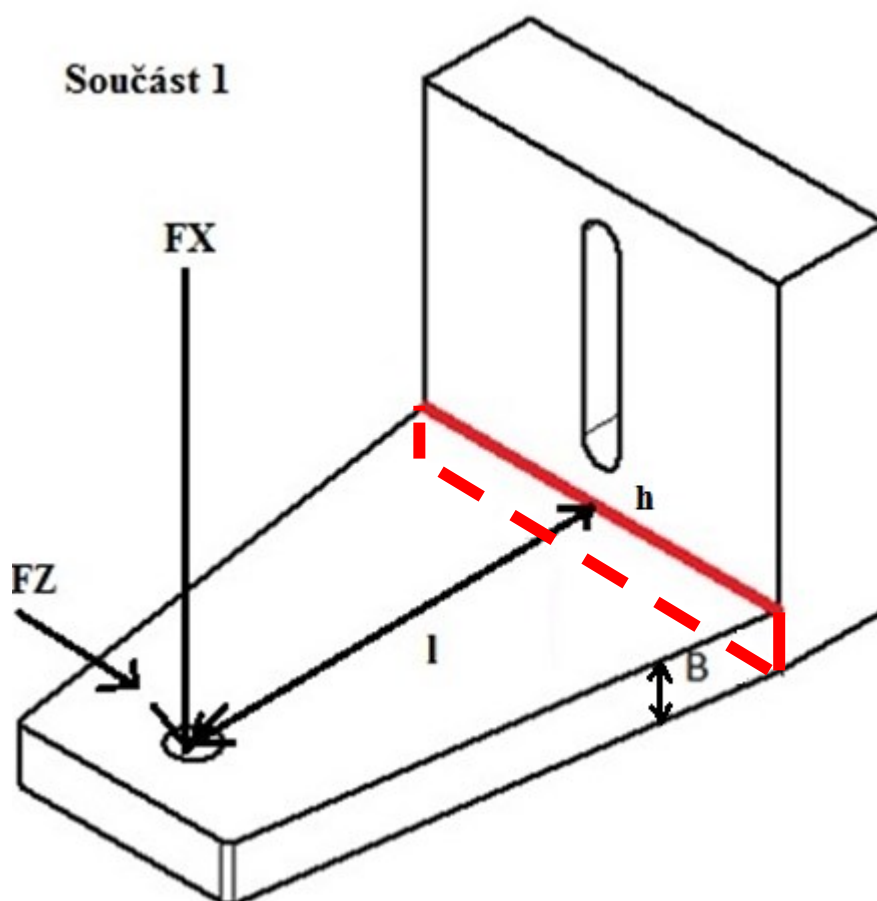
$$\sigma_o \leq \sigma_{pov}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o}$$

$$\sigma_0 = \frac{168100}{2649,38}$$

$$\sigma_0 = 63,45 \text{ MPa} < \sigma_{\text{pov}} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

#### 4.2. Ohyb úchytu ramen lichoběžníkové nápravy



Obrázek 43 náčrt uchycení nápravy

$$l = 115 \text{ mm}, h = 100 \text{ mm}, B = 20 \text{ mm}$$

Pro výpočet celkového ohybu pro uchycení nápravy, je nutné si dopočíst moment  $M_0$  působící na uchycení a modul v ohybu  $W_0$ . Tyto veličiny poté mezi sebou podělíme a z důvodu, že v místě působení síly jsou dvě uchycení ramene, tyto veličiny vydělíme dvěma a dostaneme výsledek, pomocí kterého zjistíme, zda materiál namáhání vydrží.

Reakční síly v úchytné nápravě ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ): -7220 N, -16173 N, -1219 N

$$\sigma_{pov} = \underline{\underline{71 \text{ MPa}}}$$

### Svislý ohyb uchycení

**Moment  $M_o$  působící na uchycení nápravy v ose z**

$$M_o = F_z \cdot l$$

$$M_o = 1219 \cdot 115$$

$$M_o = \underline{\underline{140\,185 \text{ N} \cdot \text{mm}}}$$

**Modul v ohybu  $W_o$  v ose z**

$$W_o = \frac{B \cdot h^2}{6}$$

$$W_o = \frac{20 \cdot 100^2}{6}$$

$$W_o = \underline{\underline{33\,333 \text{ mm}^3}}$$

**Celkový svislý ohyb uchycení**

$$\sigma_o \leq \sigma_{pov}$$

$$\sigma_o = \left( \frac{M_o}{W_o} \right) / 2$$

$$\sigma_o = \left( \frac{140\,185}{33\,333} \right) / 2$$

$$\underline{\underline{\sigma_o = 2,1 \text{ MPa}}} < \sigma_{pov} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### Podélný ohyb uchycení

**Moment  $M_o$  působící na uchycení nápravy v ose x.**

$$M_o = F_x \cdot l$$

$$M_0 = 7220 \cdot 115$$

$$M_0 = \underline{\underline{830\,300\, \text{N} \cdot \text{mm}}}$$

**Modul v ohybu  $W_0$  v ose x**

$$W_0 = \frac{B \cdot h^2}{6}$$

$$W_0 = \frac{100 \cdot 20^2}{6}$$

$$W_0 = \underline{\underline{6667\, \text{mm}^3}}$$

**Celkový podélný ohyb uchycení**

$$\sigma_0 \leq \sigma_{pov}$$

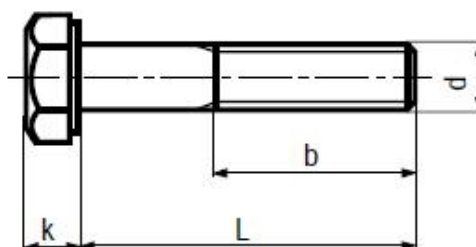
$$\sigma_0 = \left( \frac{M_0}{W_0} \right) / 2$$

$$\sigma_0 = \left( \frac{830300}{6667} \right) / 2$$

$$\underline{\underline{\sigma_0 = 62,27\, \text{MPa}}} < \sigma_{pov} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

#### 4.3. Kontrola šroubu

Pro uchycení nápravy do přípravku jsme zvolili šroub M12 x 80 dle ČSN 02 1111-8.8



*Obrázek 44 náčrt šroubu M12 x 80 [12]*

$$L = 80\, \text{mm}, d = 12\, \text{mm}, b = 30\, \text{mm}$$

Reakční síly v úchytu nápravy ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ): -7220 N, -16173 N, -1219 N

$$F_v = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}$$

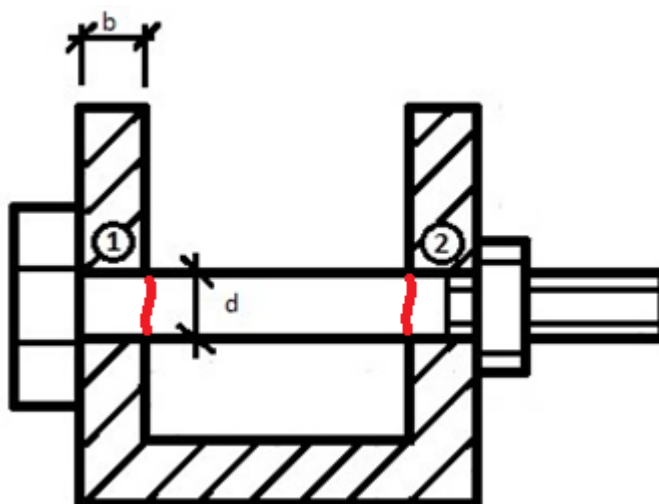
$$F_v = \sqrt{(-7220^2) + (-1219^2)}$$

$$F_v = \sqrt{52128400 + 1485961}$$

$$F_v = \underline{\underline{7322,18 \text{ N}}}$$

### Maximální stříhové napětí

Šroub je kontrolován na stříh a otláčení v místě uchycení do oka.



Obrázek 45 síly působící na šroub

Pro dovolené smykové napětí platí vzorec  $\tau_D = \sigma_{pov} * 0,6$  [19]

$$\tau_D = \sigma_0 * 0,6$$

$$\tau_D = 71 * 0,6$$

$$\tau_D = \underline{\underline{42,6 \text{ MPa}}}$$

$$\tau_{\max} = \frac{4 * F_v}{\pi * d^2 * 2}$$

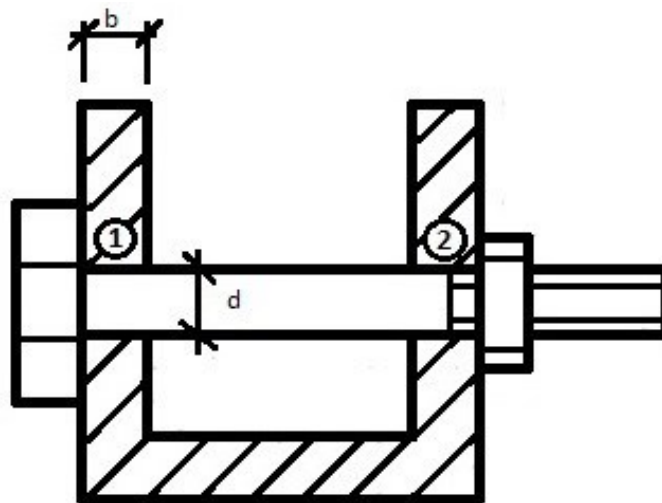
$$\tau_{\max} = \frac{4 \cdot 7322,18}{\pi \cdot 12^2 \cdot 2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{29288,72}{452,16 \cdot 2}$$

$$\tau_{\max} = 32,39 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} < \tau_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### Maximální tlak v závitech



Obrázek 46 šroubový spoj

$$P_{\text{dov}} = 160 \text{ MPa (pro materiál 12050 (c45)). [14]}$$

$$P = \frac{Fv}{2 \cdot (b \cdot d)}$$

$$P = \frac{7322,18}{2 \cdot 15 \cdot 12}$$

$$P = \frac{7322,18}{360}$$

$$P = 20,34 \text{ MPa} < P_{\text{dov}} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Dovolený tlak pro materiál 12050 (c45)  $p_d = 160 \text{ MPa}$ ,  $p_d$  pro šrouby třídy 8.8 je 150 MPa. Tlak v otlacení je menší, než dovolený tlak, šrouby na otlacení vyhovují.



## **Závěr**

V dnešní době se klade veliký důraz na bezpečí a komfort automobilu. Proto, než automobil vyjede z linky, jsou jeho veškeré části důkladně kontrolovány. Testování náprav se provádí pomocí provozních testů na polygonech, které jsou doplněny o laboratorní testy, ty jsou díky počítačové technice velice přesné a rychlé.

Cíl bakalářské práce byl splněn, vytvořením ideového návrhu modulárního systému pro uchycení a zatěžování lichoběžníkových náprav. Jedná se o provádění laboratorních pevnostních a životnostních zkoušek náprav bez stabilizátoru včetně jejich vyhodnocení. Pro dané testování byl vytvořen jeden ideový návrh, ten byl v kritických místech zkontrolován, zda materiál pevnostně vydrží. Z důvodu uvažování působení vysokocyklové únavy na testovací přípravek, byl zvolen pro dovolené napětí koeficient bezpečnosti k mezi kluzu  $k=5$ . U všech pevnostních výpočtu bylo vypočtené napětí nižší dovolené napětí, ale bylo by dobré provést pro kontrolu numerickou simulaci zatěžování k podchycení lokálních špiček napětí. Je vyroben 3D model, včetně výrobní dokumentace, která je v příloze.

Výrobek bude vytvořen a reálně používán, díky své univerzálnosti, jednoduchosti a snadného sestavení pro širokou škálu testovaných náprav. Jelikož jsem při vytváření tohoto návrhu myslel hlavně na jeho mnohostrannost, bude přípravek sestaven z několika rozebíratelných částí, které bude možné vyměnit a z tohoto důvodu, je tento přípravek možno využít k testování veškerých lichoběžníkových náprav, po menší úpravě bude možné testovat i ostatní typy náprav automobilů.

## **Citovaná literatura**

- [1] *Konstrukční návrh modulárního systému přípravků pro dynamické zkoušení materiálů a automobilových konstrukčních uzlů*. Ostrava, 2010. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [2] *Astatechnologies.com* [online]. © 2011 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: [http://astatechnologies.com/?attachment\\_id=196](http://astatechnologies.com/?attachment_id=196)
- [3] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [4] *Wikipedia.org* [online]. © 10. 10. 2012 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Tatra\\_polygon](http://cs.wikipedia.org/wiki/Tatra_polygon)
- [5] *Tatra-club.com* [online]. © 2001-2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.tatra-club.com/forum-tema/koprivnicky-zkusebni-polygon-10889>
- [6] Vybavení dynamické zkušebny, odd. TZD Škoda-auto a.s. In: *Vybavení dynamické zkušebny* [online]. © 2007 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://oprlz.lss.fd.cvut.cz/dokumenty/070323VybaveniZkusebny.pdf>
- [7] *Toyota-motorsport.com* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.toyota-motorsport.com/en/services-en/advanced-component-testing-en/full-car-road-simulator-mts-329-en>
- [8] *Http://automationprimer.com* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://automationprimer.com/wp-content/uploads/2011/08/LVDTCore.jpg>
- [9] *Http://automatizace.hw.cz* [online]. © 1997 - 2009 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/jak-pracuji-lvdt-snimace-pro-mereni-pohybu-ci-detekci-priblizeni>
- [10] *Ni.com* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/3638/en>
- [11] *Gtm-gmbh.com* [online]. © 04.01.2012 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: [http://www.gtm-gmbh.com/fileadmin/media/dokumente/produkte/prospekte/cz/Brozura\\_Serie\\_K.pdf](http://www.gtm-gmbh.com/fileadmin/media/dokumente/produkte/prospekte/cz/Brozura_Serie_K.pdf)
- [12] *Briol.cz* [online]. ©2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: [http://www.briol.cz/sroub-6hr-5-8-x-4-unc-bn67#!prettyPhoto\[gallery\]/0/](http://www.briol.cz/sroub-6hr-5-8-x-4-unc-bn67#!prettyPhoto[gallery]/0/)
- [13] *Kaipan-motors.wz.cz* [online]. © 2005-2010 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: [http://www.kaipan-motors.wz.cz/Fotogalerie\\_Jalbum/Nove\\_zaveseni\\_K57\\_Racing/album/index.html](http://www.kaipan-motors.wz.cz/Fotogalerie_Jalbum/Nove_zaveseni_K57_Racing/album/index.html)

- [14] SOŠKA. *Návrh elektrického podvěsného kladkostroje nosnosti 250 Kg*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [15] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, s. 48-114.
- [16] *Cs.autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/lichobeznikova-naprava/>
- [17] *cs.wikipedia.org* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tenzometr>
- [18] *Experimentalcar.vsb.cz* [online]. © 20.07.2012 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://experimentalcar.vsb.cz/Vyuka/Kurz5/Kurz5.htm>
- [19] *Czu.kbx.cz* [online]. © 2010 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://czu.kbx.cz/2.rocnik/PRU%8ENOST%20A%20PEVNOST/3.kapitola.pdf>

## **Seznam obrázků**

<i>Obrázek 1 testování přední nápravy [2]</i> .....	2
<i>Obrázek 2 polygon [5]</i> .....	4
<i>Obrázek 3 rychlostní okruh [5]</i> .....	4
<i>Obrázek 4 pavé vozovka [5]</i> .....	5
<i>Obrázek 5 sinusová resonanční vozovka [5]</i> .....	6
<i>Obrázek 6 adhézní vozovka [5]</i> .....	6
<i>Obrázek 7 drásací vozovka [5]</i> .....	6
<i>Obrázek 8 blůžník [5]</i> .....	7
<i>Obrázek 9 ohybová vozovka [5]</i> .....	7
<i>Obrázek 10 vozovka příčné stability [5]</i> .....	8
<i>Obrázek 11 kruhová plocha [5]</i> .....	8
<i>Obrázek 12 laboratorní zkoušky nápravy [7]</i> .....	9
<i>Obrázek 13 schéma 4 – kanálového vertikálního simulátoru vozovky [3]</i> .....	9
<i>Obrázek 14 schéma 14 – kanálového vertikálního simulátoru vozovky [3]</i> .....	10
<i>Obrázek 15 schéma 4 – kanálového vertikálního simulátoru vozovky na 1 nápravu [3]</i> .....	10
<i>Obrázek 16 3D model dynamické zkušebny s upevněným rámem vozidla [1]</i> .....	12

<i>Obrázek 17 působení sil .....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 18 konstrukční řešení snímače [18] .....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 19 řez LVDT jádra a vynutí [8] .....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 20 drátový tenzometr [17] .....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 21 snímač GTM K 25 kN .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 22 okno pro nastavení jednoduché nebo dvojné integrace .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 23 uchycení nápravy v přípravku [13] .....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 24 lichoběžníková náprava [16] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 25 odklon kola [16] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 26 základní deska .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 27 horní hlavní část .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 28 spodní hlavní část .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 29 redukce uchycení tlumiče .....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 30 základna uchycení tlumiče .....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 31 celkové uchycení tlumiče .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 32 redukce .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 33 úchyt .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 34 úchyt zadní pohled .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 35 celkový přípravek .....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 36 celkový přípravek s redukcí .....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 37 výkres základní deska .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 38 výkres hlavní část spodní .....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 39 výkres uchycení tlumiče hlavní .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 40 uchycení nápravy se směry sil .....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 41 síly pro výpočet .....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 42 uchycení tlumiče .....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 43 náčrt uchycení nápravy .....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 44 nákres šroubu M12 x 80 [12] .....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 45 síly působící na šroub .....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 46 šroubový spoj .....</i>	<i>37</i>

**Přílohy**

Příloha č. 1 výkres základní deska

Příloha č. 2 výkres hlavní část vrchní

Příloha č. 3 výkres hlavní část spodní

Příloha č. 4 výkres uchycení tlumiče redukce

Příloha č. 5 výkres uchycení tlumiče hlavní

Příloha č. 6 výkres redukce

Příloha č. 7 výkres úchyt ramen

Příloha č. 8 výkres celkový přípravek